

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

«На правах рукопису»
УДК 621.311.153

«До захисту допущено»
Науковий керівник кафедри
_____ С.П. Денисюк
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективність

на тему: «Оцінювання ефективності заходів з енергозбереження з
встановлення базових рівнів енерговикористання»

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи ОН-62М
Ознобішин Анатолій Вікторович

Керівник:

к.т.н., доц. Бориченко О.В.

Консультант з нормоконтролю:

ас. Прокопенко І.Д.

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективність»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Науковий керівник кафедри

_____ С.П. Денисюк

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Ознобішин Анатолій Вікторович

1. Тема дисертації «Оцінювання ефективності заходів з енергозбереження з встановлення базових рівнів енерговикористання»
науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Бориченко О.В.

затверджені наказом по університету від «__» грудня 2018 р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації «__» грудня 2018 року

3. Об'єкт дослідження процес оцінювання заходів з енергозбереження на цукровому підприємстві.

4. Вихідні дані загальні відомості про підприємство цукрової галузі, звіт з енергетичного аудиту підприємства, енергетичний паспорт підприємства, можливі заходи з енергозбереження

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) аналіз існуючих методів оцінювання ефективності заходів з енергозбереження; 2) аналіз традиційних методик встановлення базових рівнів енерговикористання на підприємстві; 3) визначити особливості в роботі цукрових підприємств з метою оцінювання енергоефективності; 4) розробка комплексного підходу до послідовного оцінювання результатів заходів з енергозбереження з використанням базових рівнів енергоспоживання та врахуванням особливостей режимів роботи цукрового підприємства.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Графіки електроспоживання, блок-схеми, , результати кореляційно-регресійного аналізу, результати статистичних та фінансових розрахунків

7. Орієнтовний перелік публікацій –

8. Консультанти розділів дисертації:

Нормаконтроль

ас. Прокопенко І.Д.

9. Дата видачі завдання XX березня 2018 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання	15.03.1018	Вик
2	Аналіз літературних джерел	17.04.2018	Вик
3	Складання плану роботи	23.04.2018	Вик
4	Робота над першим розділом	09.06.2018	Вик
5	Робота над другим розділом	19.08.2018	Вик
6	Робота над третім розділом	12.10.2018	Вик
7	Робота над четвертим розділом	28.11.2018	Вик
8	Оформлення ПЗ, нормо контроль, попередній захист	03.12.2018	Вик

Студент

(підпис)

Ознобішин А.В.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Бориченко О.В.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи: дисертація викладена на 94 сторінках, складається зі вступу, 4 розділів, висновку, уміщує 34 рисунків, 33 таблиці, 57 формул, список використаних джерел із 50 найменувань на 5 сторінках.

Актуальність теми. В умовах зміни ринкової структури енергетики України та постійного зростання тарифів на електроенергію важливою є задача контролю ефективності енерговикористання. Нераціональне використання електроенергії призводить до зменшення економічної ефективності та конкурентоспроможності промислових підприємств. Ефективним напрямом вирішення цієї проблеми є впровадження систем енергетичного менеджменту згідно вимог Стандарту ISO 50001. Одним з головних інструментів функціонування системи енергетичного менеджменту на підприємстві є використання базових рівнів енерговикористання. Впровадження статистично значущого базового рівня енерговикористання дозволяє планувати попит на енерговикористання та контролювати ефективність заходів з енергозбереження. Здатність точно планувати попит на енергоспоживання є необхідним для будь якого підприємства в умовах конкурентного ринку електричної енергії.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Виконані в роботі дослідження відповідають напряму «Енергетика та енергоефективність» Закону України № 2519-VI від 09.09.2010 р. «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», стратегічним пріоритетним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки «Новітні ресурсозберігаючі технології» Закону України № 433-IV від 16.01.2003 р. «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», Комплексній програмі НТУУ «КПІ» «Енергетика сталого розвитку» і направленості тематики кафедри електропостачання НТУУ

«КПІ», Закону України від 13.04.2017 № 2019 «Про Ринок електричної енергії».

Метою магістерської дисертації є удосконалення систему моніторингу ефективності заходів з енергозбереження на цукровому підприємстві.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені такі завдання:

- 1) _аналіз існуючих методів оцінювання ефективності впроваджених заходів з енергозбереження ;
- 2) дослідження особливостей енергоспоживання на цукрових підприємствах;
- 3) розробка моделі послідовної оцінки результатів впроваджених заходів з енергозбереження з використанням базових ліній.
- 4) розробка стартап проекту за результатами дослідження

Об'єктом дослідження є процес оцінювання заходів з енергозбереження на цукровому підприємстві.

Предметом дослідження є методи та способи контролю енергоефективності промислових підприємств.

В дослідженні були використані такі програмні продукти як: Microsoft Word, Microsoft Excel(внутрішні програмні функції та патек «аналіз даних»), мова програмування Python 3.6.1, Jupyter Notebook, модулі Pandas, SciPy, Matplotlib, SK-Learn, середовище XGBoost.

Методи дослідження. Методичною основою дисертаційного дослідження є комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, використовуваних для:

- 1) побудування та прогнозування графіків електричного навантаження – методи математичного моделювання, методи теорії ймовірності та математичної статистики, методи авторегресії;
- 2) визначення цільової функції для розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації – методи експертного опитування,

методи економіко-математичного моделювання, апарат нечіткої математики, методи оптимального програмування, методи математичної статистики, економіко-математичного моделювання та встановлення довірчих інтервалів до відповідних моделей;

3) розв’язок багатокритеріальної оптимізаційної задачі – методи лінійного та нелінійного програмування, нейронні мережі та математичні моделі засновані на теорії нечіткої логіки;

4) методи узагальнення та логічного підходу.

Наукова новизна одержаних результатів. Удосконалено процедуру контролю ефективності проведених заходів з енергозбереження, а саме: проведено аналіз методів оцінки ефективності впроваджених заходів з енергозбереження, визначення статистично-значущих чинників для побудови базової лінії енергоспоживання цукрового заводу, розроблено модель моніторинг ефективності впроваджених заходів, розроблено математичні моделі аналізу ефективності впроваджених заходів з енергозбереження для типів підприємств, розглянутих в дисертації. Розроблено алгоритм та програмні засоби для побудови та тестування базового рівня енерговикористання

Практичне значення роботи. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення діючої в Україні системи контролю ефективності використання електричної енергії та забезпечити реалізацію одного з можливих напрямів її подальшого розвитку. Використання програмних засобів, що розробляються у магістерській дисертації, дозволить практично застосовувати деякі системи моніторингу рівня ефективності використання електричної енергії на виробничих об’єктах.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської дисертації були оприлюдненні:

– Ознобішин А.В. «ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАОЩАДЖЕННЯ ПРИ ПОБУДОВІ БАЗОВИХ ЛІНІЙ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ»/ I Науково-технічна конференція магістрантів

ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів) Присвячена 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського від 22.11.2018 р., Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Ключові слова: контроль ефективності енерговикористання, кореляційно-регресійний аналіз, разовий рівень енерговикористання, показники енергоефективності, бустингові дерева, лінійна регресія.

ABSTRACT

Structure and scope of work: 94 pages, consists of introduction, 4 chapters, conclusion, contains 34 figures, 33 tables, 57 formulae, a bibliography of 50 items in 5 pages..

Relevance of the work. In the conditions of changing the market structure of Ukraine's power industry and the proper inflation of tariffs for electricity, the task of controlling the efficiency of energy use is important. Non-territorial use of electricity leads to a reduction in the economic efficiency and competitiveness of industrial enterprises. The effective direction of solving this problem is the introduction of energy management systems in accordance with the requirements of ISO 50001. One of the main tools for the functioning of the energy management system at the enterprise is the use of baseline energy consumption levels. The introduction of a statistically significant baseline of energy use allows planning the demand for energy use and controlling the effectiveness of energy saving measures. The ability to accurately plan the demand for energy consumption is necessary for any enterprise in a competitive market of electric energy.

Communication with academic programs, plans, themes. The completed reports correspond to the "Energy and Energy Efficiency" Directives of the Law of Ukraine No. 2519-VI of 09.09.2010 "On Priority Areas of Science and Technology Development", the Cultural Priority Areas of Innovative Activity in Ukraine for 2003-2013 "New Recycling Technologies" Law of Ukraine No. 433-IV of 16.01.2003 "On Priority Directions of Innovative Activity in Ukraine", Complex Program of NTUU "KPI" "Power Engineering of Civil Development" and directed to the topics of the Department of Electrical Supply of NTUU "KPI", Law of Ukraine dated April 13, 2017 No. 2019 "About the Market electric energy".

The purpose of the work is improvement of the system for monitoring the effectiveness of energy saving measures at the sugar enterprise.

To accomplish this purpose, the following tasks were solved:

- 1) analysis of existing methods for evaluating the effectiveness of implemented energy saving measures;
- 2) study of the specifics of energy consumption at sugar enterprises;
- 3) development of a model for the consistent assessment of the results of implemented energy saving measures using baselines.

The object of research a process assessment of energy conservation measures at the sugar enterprise.

The subjects of research there is a method and control of energy efficiency of industrial enterprises.

Software applications such as Microsoft Word, Microsoft Excel (internal software functions and dataclass analysis patches), Python 3.6.1 programming language, Jupyter Notebook, Pandas module, SciPy, Matplotlib, SK-Learn, XGBoost were used in the application.

Methods of research. Methodical standard dictation is a set of general scientific and special methods used for:

- 1) construction and forecasting of graphs of electric load - methods of mathematical modeling, methods of theory of probability and mathematical statistics, methods of autoregregation;
- 2) determination of the objective function for solving the problems of multicriteria optimization - methods of expert surveys, methods of economical and mathematical modeling, apparatus of random mathematics, methods of optimal programming, methods of mathematical analysis, economical and mathematical modeling and validation of reliable intervals to corresponding models;
- 3) the solution of the multicriteria optimization problem - the methods of linear and nonlinear programming, neural networks and mathematical models are implemented on the theory of raw logic;
- 4) methods of generalization and logical subcategory.

The scientific novelty of the results is as follows:

1) 1) the procedure for controlling the efficiency of implemented energy saving measures has been improved, namely: an analysis of the methods for assessing the effectiveness of the implemented energy saving measures, the determination of statistically significant factors for constructing the baseline energy consumption of a sugar plant, developed a model for monitoring the effectiveness of the implemented measures

2) mathematical models of the analysis of the effectiveness of implemented energy saving measures for the types of enterprises considered in the dissertation have been developed. An algorithm and software for the construction and testing of the base level of energy use have been developed

3) identified the main directions and ways of improving the existing system for monitoring the effectiveness of implemented energy conservation measures

The practical value of the result The obtained results can be used to improve the efficiency of the use of electric energy in Ukraine, and to ensure the implementation of one of the possible directions for its further development. The use of software programs that develop in a magnetothermal environment will allow practically to capture some systems of monitoring the level of efficient use of electric energy on a production object.

Key words: energy efficiency control, correlation-regression analysis, one-time energy utilization, energy efficiency indicators, boosting trees, linear regression.

ЗМІСТ

ВСТУП	13
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕНИХ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	17
1.1 Тенденції розвитку політики енергозбереження в Україні та світі.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.2 Сучасний стан контролю енергоефективності в Україні	17
1.3 Методи прогнозування як елемент контролю ефективності енерговикористання підприємств.....	19
1.4 Методологія побудови базових рівнів енерговикористання....	24
Висновки	30
2 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПІДПРИЄМСТВА ЦУКРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	31
2.1 Дослідження технологічних процесів підприємства	31
2.2 Аналіз енергозабезпечення підприємства	37
2.3 Вибір потенційних чинників для побудови базового рівня енерговикористання	39
Висновки	41
3 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕНИХ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ЦУКРОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	42
3.1 Кореляційний аналіз чинників, що впливають на процес енерговикористання	42
3.2 Розрахунок базового рівня енергоспоживання методом лінійної регресії	45
3.3 Розрахунок базового рівня енергоспоживання методом екстремального градієнтного підсилювання	52

	12
3.3.1 Нелінійність функції залежності змінних	53
3.3.2 XGBoost регресійна модель	55
3.4 Аналіз ефективності впроваджених заходів з енергозбереження	59
3.4.1 Контроль енергоефективності з БР розрахованим методом лінійної регресії.....	61
3.4.1 Контроль енергоефективності з БР побудованим на основі XGBoost	63
3.5 Визначення можливостей заощадження при аналізі базового рівня енергоспоживання з допомогою дерев XGBoost	65
Висновки.....	67
4 СТАРТАП ПРОЕКТ «Впровадження системи енергетичного менеджменту на промислових підприємствах»	69
4.1 Опис ідеї проекту.....	69
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	70
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	71
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	77
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	79
Висновки.....	84
ВИСНОВКИ	85

ВСТУП

В умовах недостатньої забезпеченості паливно-енергетичними ресурсами та зміни ринкової структури важливим є питання організації раціонального споживання паливно-енергетичних ресурсів. Особливо актуальним питання підвищення енергетичної ефективності є для промислових підприємств, які будуть залежати від конкурентних тарифних систем. Раціональним способом вирішення даного питання є процес планування енергоспоживання. У сфері споживання паливно-енергетичних ресурсів у промисловому секторі, здебільшого домінують енергоємні технологічні процеси. Дієва система керування енергоефективністю практично застаріла. На практиці моніторинг енергоспоживання здійснюють у спрощеній формі, не враховуючи особливостей змінення технологічних та ринкових умов. Більше того, аналіз та контроль енергоефективності на більшості промислових підприємств України проводиться без вираження детермінованих показників енергоефективності.

Вирішенням даного питання є впровадження енергетичної політики на підприємстві. Енергетична політика є рушійною силою впровадження та успішного функціонування систем енергетичного менеджменту[1]. Система управління енерговикористанням повинна поєднувати в собі важливі завдання, що стосуються контролю за енергоспоживанням, питань щодо поставки енергії, раціональної експлуатації технологічних процесів, тощо.

Актуальність теми В умовах зміни ринкової структури енергетики України та постійного зростання тарифів на електроенергію важливою є задача контролю ефективності енерговикористання. Нераціональне використання електроенергії призводить до зменшення економічної ефективності та конкурентоспроможності промислових підприємств. Ефективним напрямом вирішення цієї проблеми є впровадження систем енергетичного менеджменту згідно вимог Стандарту ISO 50001. Одним з

головних інструментів функціонування системи енергетичного менеджменту на підприємстві є використання базових рівнів енерговикористання. Впровадження статистично значущого базового рівня енерговикористання дозволяє планувати попит на енерговикористання та контролювати ефективність заходів з енергозбереження. Здатність точно планувати попит на енергоспоживання є необхідним для будь якого підприємства в умовах конкурентного ринку електричної енергії.

Метою магістерської дисертації є удосконалення систему моніторингу ефективності заходів з енергозбереження на цукровому підприємстві.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені такі завдання:

- 1) _аналіз існуючих методів оцінювання ефективності впроваджених заходів з енергозбереження ;
- 2) дослідження особливостей енергоспоживання на цукрових підприємствах;
- 3) розробка моделі послідовної оцінки результатів впроваджених заходів з енергозбереження з використанням базових ліній.
- 4) розробка стартап проекту за результатами досліджень

Об'єктом дослідження є процес оцінювання заходів з енергозбереження на цукровому підприємстві.

Предметом дослідження є методи та способи контролю енергоефективності промислових підприємств.

В дослідженні були використані такі програмні продукти як: Microsoft Word, Microsoft Excel(внутрішні програмні функції та патек «аналіз даних»), мова програмування Python 3.6.1, Jupyter Notebook, модулі Pandas, SciPy, Matplotlib, SK-Learn, середовище XGBoost.

Методи дослідження. Методичною основою дисертаційного дослідження є комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, використовуваних для:

1) побудування та прогнозування графіків електричного навантаження – методи математичного моделювання, методи теорії ймовірності та математичної статистики, методи авторегресії;

2) визначення цільової функції для розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації – методи експертного опитування, методи економіко-математичного моделювання, апарат нечіткої математики, методи оптимального програмування, методи математичної статистики, економіко-математичного моделювання та встановлення довірчих інтервалів до відповідних моделей;

3) розв'язок багатокритеріальної оптимізаційної задачі – методи лінійного та нелінійного програмування, нейронні мережі та математичні моделі засновані на теорії нечіткої логіки;

4) методи узагальнення та логічного підходу.

Наукова новизна одержаних результатів. Удосконалено процедуру контролю ефективності проваджених заходів з енергозбереження, а саме: проведено аналіз методів оцінки ефективності впроваджених заходів з енергозбереження, визначення статистично-значущих чинників для побудови базової лінії енергоспоживання цукрового заводу, розроблено модель моніторинг ефективності впроваджених заходів, розроблено математичні моделі аналізу ефективності впроваджених заходів з енергозбереження для типів підприємств, розглянутих в дисертації. Розроблено алгоритм та програмні засоби для побудови та тестування базового рівня енерговикористання

Практичне значення роботи. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення діючої в Україні системи контролю ефективності використання електричної енергії та забезпечити реалізацію одного з можливих напрямів її подальшого розвитку. Використання

програмних засобів, що розробляються у магістерській дисертації, дозволить практично застосовувати деякі системи моніторингу рівня ефективності використання електричної енергії на виробничих об'єктах.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської дисертації були оприлюдненні:

Ознобішин А.В. «ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАОЩАДЖЕННЯ ПРИ ПОБУДОВІ БАЗОВИХ ЛІНІЙ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ»/ I Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів) Присвячена 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського від 22.11.2018 р., Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕНИХ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Політика енергозбереження є невід’ємною умовою функціонування будь якого промислового підприємства. Високий рівень енергозбереження сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції промислового підприємства на світових ринках шляхом зменшення питомої вартості енергоносіїв в одиниці продукції і скорочення питомої плати за викиди парникових газів [1]. Одним із основних етапів реалізації енергозберігаючої політики промислового підприємства є проведення контролю рівня енергоефективності з метою своєчасного виявлення і усунення причин нераціонального використання енергії. Проведемо аналіз ринкових умов і економічної доцільності якісного контролю енергетичної ефективності для підприємств України в 2018 році.

1.1 Сучасний стан контролю енергоефективності в Україні

Проблеми енергозбереження і підвищення енергоефективності промисловості і підходи до їх вирішення досліджуються у багатьох наукових працях як вітчизняних, так і зарубіжних учених. За активної участі провідних науковців НАН України розроблена КДПЕ, Енергетична стратегія України на період до 2030 року, нова редакція закону України «Про енергозбереження» - закон України «Про енергоефективність», зміни до податкового законодавства та інші законодавчі заходи у сфері енергозбереження. Але слід відзначити недосконалість зазначених документів щодо розкриття сутності, важливості і відповідальності елементів системи енергетичного менеджменту промислових підприємств.

Енергетичною стратегією України на період до 2030 року передбачається досягнення світового рівня показників енергетичної ефективності за рахунок двох основних чинників:

1. Технічної (технологічної) складової потенціалу енергозбереження:

- підвищення ефективності виробництва (видобутку), перетворення, транспортування та споживання енергоресурсів і, відповідно, зниження енергоємності продукції та надання послуг за рахунок впровадження новітніх енергоефективних технологій та заходів з енергозбереження;

- технічного (технологічного) енергозбереження, що передбачає модернізацію або заміну енергоємних наявних технологій з метою підвищення енергоефективності промисловості і соціально-комунального сектору економіки та зменшення втрат енергоресурсів.

2. Структурної складової потенціалу енергозбереження:

- зміна макроекономічних пропорцій в економіці з метою зниження рівнів енергоспоживання;

- зменшення питомої ваги енергоємних галузей і виробництв промисловості та транспорту за рахунок розвитку наукомістких галузей і виробництв з низькою енерго- та матеріалоємністю.

Загальний потенціал енергозбереження за рахунок технічного та структурного чинників в економіці України у 2030 році за базовим сценарієм розвитку економіки та її сфер становитиме 318,36 млн. т.у.п. [2].

Основні проблеми енергозбереження, які вимагають першочергового вирішення, наступні:

1. Приведення окремих положень законодавства у сфері енергозбереження у відповідність з економічною ситуацією. Зокрема, створення умов економічного стимулювання суб'єктів господарювання до підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів.

2. Вдосконалення порядку нормування питомих витрат енергоносіїв.

3. Вдосконалення системи державної експертизи з енергозбереження.

4. Запровадження обов'язкової статистичної звітності щодо використання енергоресурсів.

5. Створення єдиного механізму державного контролю у сфері енергозбереження і енергоефективності, уникаючи дублювання функцій органів державного управління.

6. Встановлення адекватної юридичної відповідальності юридичних осіб, посадовців та громадян за неефективне використання ПЕР.

7. Забезпечення переходу до масового застосування та заміни на сучасні приладів обліку споживання енергоресурсів. Існує нагальна необхідність упорядкування оплати за спожиті ресурси споживачами житлово-комунальних послуг, яка сьогодні проводиться здебільшого за встановленими нормами, що значно перевищують фактичні обсяги споживання ресурсів.

Одним з найважливіших напрямів Енергетичної стратегії України на період до 2030 року є створення передумов для докорінного зменшення енергоемності вітчизняної продукції за рахунок впровадження нових технологій, прогресивних стандартів, сучасних систем контролю управління та обліку на усіх етапах виробництва, транспортування та споживання енергетичних продуктів, розвиток ринкових механізмів стимулювання енергозбереження в усіх галузях економіки [3].

Іншим кроком для розвитку політики енергоефективності стало оприлюднення проекту Енергетичної стратегії України до 2035 року (НЕС) (19.12.2016) Міністерством енергетики та вугільної промисловості України [4]. Головною відмінністю проекту Енергетичної стратегії 2035 від Стратегії 2030 є те, що енергетичний комплекс України має пройти період трансформації, що зумовлено не тільки дією галузевих чинників,

але й соціально-економічними перетвореннями у країні із урахуванням фактору безпеки в умовах зовнішньої військово-політичної. Проект описує основні тенденції, проблеми (секторальна проблематика) і перспективи енергетики України, також робить наголос на існуючих відносинах між Україною та країнами ЄС, та Російською Федерацією.

Головна метою проекту розвитку енергетики на період до 2035 року – забезпечення енергетичної безпеки і перехід до енергоефективного та енергозощадливого використання і споживання енергоресурсів із впровадженням інноваційних технологій [4].

Інвестиції будуть проводитись за рахунок реформ, демонополізації, прозорості і вдосконалення правових і регуляторних механізмів. Держава повинна мінімально інвестувати, але максимально створювати сприятливий інвестиційний клімат.

Головні передумови і джерела інвестицій: деофшоризація економіки, впровадження стимулюючого податкового й регуляторного законодавства, економічно обґрунтовані тарифи та міжнародні інвестиції. Частка прямих державних інвестицій з державного бюджету України для розвитку енергетичної інфраструктури не повинна перевищувати 5-10% [5].

У 2015 році вступив у дію державний стандарт України (ДСТУ) ISO 50001:2014 «Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2011, IDT)». Запровадження цього стандарту стало першим суттєвим кроком до реформації політики енергозбереження країни. Дотримання даного стандарту підприємствами будь якої галузі будь якого типу позитивно впливає на ринкову конкурентоспроможність, дотримання екологічних норм та систематизувати керування енергетичних ресурсів. Суттєвою перевагою цього документу є те що він підходить для організацій будь-якого типу та розміру.

Згідно до стандарту ISO 50001 основою енергоменеджменту є цикл Демінга:PDCA — Планування (Plan) — Дії (Do) — Перевірка (Check) — Вдосконалення (Act)(Рисунку 1.1).

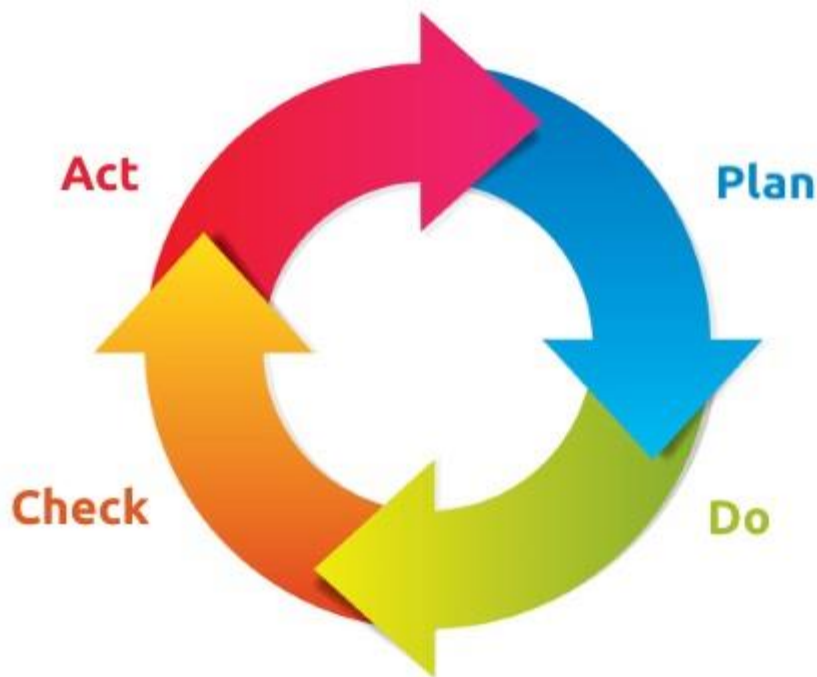


Рисунок 1.1 - Цикл Демінга: PDCA

1. Планування — проведення енергетичного аналізу і визначення БРЕ, ПЕЕ, постановку цілей, задач і розроблення стратегії та плану для досягнення результатів – підвищення рівня енергоефективності;
2. Дії — провадження планів і заходів у сфері енергетичного менеджменту;
3. Перевірка — здійснення моніторингу та вимірювання ключових характеристик діяльності, що визначають рівень енергоефективності;
4. Вдосконалення — вживання заходів щодо постійного підвищення рівня енергоефективності [14].

Моніторинг показників енергоефективності - один з основних чинників, що визначають проведення енергозберігаючої політики і її ефективності на підприємстві, що дозволяє визначити контрольні границі енергоспоживання та дати обґрунтовану оцінку виходу значень рівня енергоефективності за межі контрольних границь, тобто оцінити не

випадковість виходу, проаналізувати причини та дати кількісну оцінку економії чи перевитрати енергії на досліджуваному об'єкті.

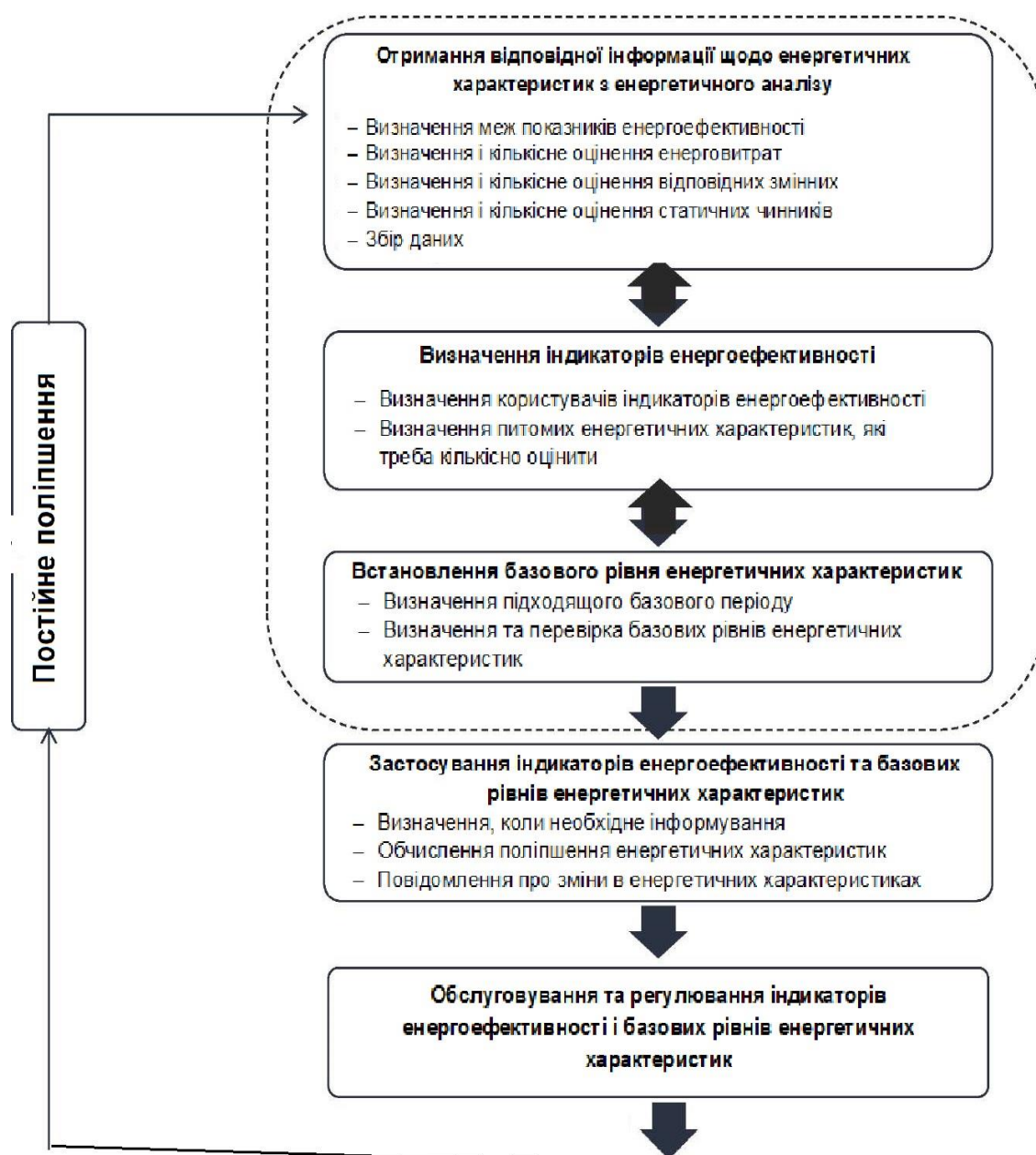


Рисунок 1.2 – Загальна схема вимірювання рівня досягнутої енергоефективності для будь яких організацій

Організація повинна порівняти зміни рівня досягнутої енергоефективності між періодом дії базового рівня енергоспоживання та звітним періодом. БРЕ використовують для визначення значень ПЕЕ для періоду дії базового рівня енергоспоживання. Тип інформації, необхідної для встановлення БРЕ, визначається конкретною метою ПЕЕ[6]. В

контексті математичного обґрунтування БРЕ – модель прогнозування енерговикористання, що використовується для моніторингу рівня енергетичної ефективності на підприємстві. Спробуємо дослідити доцільність впровадження ефективних моделей БРЕ при сучасних ринкових умовах в сфері енергозбереження.

Ще одним кроком до зміни політики енергетичної ефективності є підписання 13 квітня 2017 року Верховною Радою України Закон України «Про ринок електричної енергії». Метою даного проекту є запровадження конкурентних механізмів функціонування ринку електричної енергії, вільний вибір контрагентів та забезпечення права споживача вільно обирати постачальника електричної енергії. Законом передбачені різні механізми купівлі-продажу електричної енергії – двосторонні договори, ринок «на добу наперед» та внутрішньодобовий ринок. Для забезпечення достатніх обсягів електричної енергії, необхідних для балансування в реальному часі обсягів виробництва та імпорту електричної енергії і споживання та експорту електричної енергії, врегулювання системних обмежень в об'єднаній енергетичній системі України, а також фінансового врегулювання небалансів електричної енергії, передбачений балансуєчий ринок та ринок допоміжних послуг[7].

Прийняття закону є необхідною передумовою структурних змін в електроенергетиці України, підґрунтям для модернізації галузі та інтеграції ринку електричної енергії України до регіональних енергетичних ринків, з наступним входженням до загальноєвропейського енергетичного ринку. При теперішніх умовах ціна на електричну енергію матиме змінний характер і буде залежати від багатьох чинників конкурентного середовища. Один з таких чинників – якісне короткочасне планування енергоспоживання. Так як електрична енергія – товар, який не можна зберігати, для укладання якісних договорів на постачання електроенергії, підприємства повинні мати можливість прогнозування необхідного попиту на електричну енергію. Відсутність даної можливості

може змусити підприємства заключати додаткові миттєві договори для заповнення незапланованих енерговитрат по максимально високій ціні. Само тому в умовах сучасної енергетичної економіки важливим елементом конкурентоспроможності стане здатність ефективно планувати попит на електричну енергію.

1.2 Методи прогнозування як елемент контролю ефективності енерговикористання підприємств

Прогнозування енергоспоживання дозволяє визначити основну вихідну інформацію для прийняття рішень при керуванні електроенергетичними системами в процесі планування їх нормальних електричних режимів. На основі прогнозованих даних навантажень можна визначити оптимальні режими роботи електроенергетичних систем, оцінити їх надійність, економічність, якість електричної енергії та інші параметри, що дозволять покращити функціонування енергосистеми.

Задача прогнозування електроспоживання складається з аналізу об'єктивних факторів, що впливають на зміну навантаження, та розрахунок майбутніх графіків навантаження електроспоживання[8].

Чинники, що можуть впливати на графік навантаження електроспоживання представлені у таблиці 1.1.

Процес споживання електроенергії можна представити у вигляді часового ряду, що складається з миттєвих значень споживаної потужності в дискретні проміжки часу.

При вирішенні задачі прогнозування споживання електроенергії постає питання вибору математичної моделі прогнозування. Якість цієї моделі впливає на точність визначення планового електроспоживання при формуванні цінової заявки купівлі-продажу електроенергії на оптовому ринку. Прогнозування електроспоживання здійснюється за допомогою різних методів, заснованих на аналізі ретроспективної динаміки електроспоживання і діючих на нього факторів, виявленні статистичного

зв'язку між ознаками і на побудові прогнозних моделей з використанням різних методів і про-програмних засобів.

Таблиця 1.1.

Фактори	Соціально-економічні	Метеорологічні
Циклічні	Час(години доби)	Температура повітря
	Тижневий день	Тривалість світлового дня
	Тип тижневої доби(робоча, вихідна, святкова, передсвяткова)	Час сходу та заходу сонця
Природні	Індивідуальна виробнича програма функціонування промислових підприємств	Атмосферний тиск
		Відносна вологість повітря
		Напрямок вітру
	Використання альтернативних джерел енергопостачання	Швидкість вітру
		Хмарність
		Опади
Випадкові	Введення в експлуатацію енергоємних об'єктів	Горизонтальна дальність видимості
		Різкі кардинальні зміни погодних умов(напр.. температура повітря та опади)

Класичні методи прогнозування навантаження представлені на рисунку 1.3. Інтелектуальні методи прогнозування представлені на рисунку 1.4



Рисунок 1.3 Класичні методи прогнозування споживання електроенергії



Рисунок 1.4 Інтелектуальні методи прогнозування споживання електроенергії

1.3 Методологія побудови базових рівнів енерговикористання

Енергетичне планування забезпечує підґрунтя для розробки системи енергетичного менеджменту(СЕМ), яка базується на розумінні енергетичної ефективності організації. Енергетичний аналіз – це аналітична частина процесу енергетичного планування. Якість енергетичного аналізу залежить від наявності, якості та вивчення зібраних даних[9]. Результатом аналізу є виявлення можливостей підвищення ефективності енерговикористання. Важливим інструментом кількісної оцінки досягнутого рівня енергетичної ефективності на підприємстві є встановлення базової лінії енерговикористання(БЛЕ). БЛЕ – математична модель, що описує залежність процесу енергоспоживання від певних впливових чинників. БЛЕ використовується при моніторингу рівня енергоефективності для встановлення цільового значення енергоспоживання[10]. Статистичний аналіз при побудові БЛЕ дозволяє не лише будувати модель енергоспоживання а і виявити потенціальні шляхи підвищення енергоефективності.

Виявлення можливостей для підвищення енергоефективності та складання списку цих можливостей підвищення за пріоритетами є результатом енергетичного аналізу. Збір та аналіз даних створює підґрунтя для визначення пріоритетності можливостей для поліпшення. На основі можливостей визначається планове цільове заощадження на певний звітний період, яке верифікується при порівнянні фактичного споживання, цільового та планового, або БЛЕ. На рисунку 1.5 можемо побачити процес верифікації досягнення планового енергозаощадження[11].

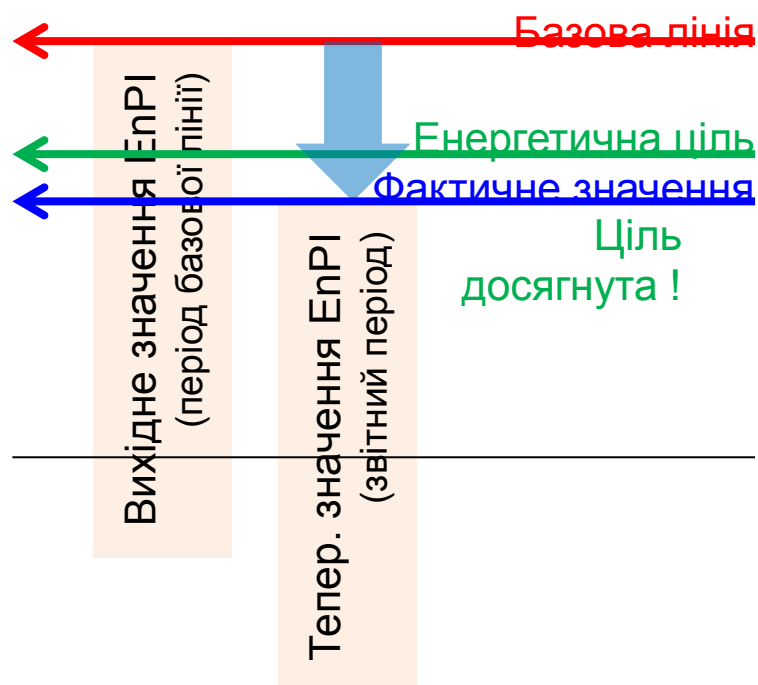


Рисунок 1.5 Перевірка досягнення цільового рівня енергоспоживання

БЛЕ будуються на основі енергетичного аналізу та дозволяють визначити основні показники та рівень досягнутої енергоефективності. Проводиться кореляційно-регресійний аналіз та визначається регресійна модель залежності процесу енергоспоживання від певних факторів, що впливають на цей процес. Найбільш поширеними вважаються лінійні регресійні моделі через простоту та інтерпретованість[12]

Процес побудови базового рівня енерговикористання базується на встановленні статистично значущою залежності між процесом енергоспоживання та певними кількісними показниками, які мають потенційний вплив на процес енергоспоживання. Дану задачу можна віднести до класичної задачі машинного навчання «навчання з вчителем»[10]. Збираються статистичні дані за певний тренувальний період, знаходиться функція залежності між процесом енергоспоживання та чинниками, що впливають на даний процес. Для задач даного типу існує міжгалузевий стандарт дослідження даних «CRISP-DM» (Cross-Industry Standard Process for Data Mining)[5]. Даний стандарт визначає методологічні рекомендації для побудови математичних залежностей.

Згідно методики CRISP-DM модель життєвого циклу побудови регресійної залежності умовно можна поділити на шість етапів:

- Розуміння бізнес процесу(в контексті нашої задачі – розуміння технологічних і організаційних процесів на підприємстві);
- Початковий аналіз даних;
- Підготовка даних(заповнення відсутніх значень, аналіз відхилень від норми і т.д.);
- Моделювання регресійної залежності;
- Оцінка статистичної значущості моделі;
- Впровадження;

Схема процесу дослідження даних при побудові регресійної залежності для задач енергетичної сфери зображено на рисунку 1.6. Стрілками визначені залежності між етапами. Як можна помітити, строга послідовність не визначена, тобто в даній задачі необхідно періодично повертатись до попередніх етапів. Як і в циклі Демінга, для досягнення ефективності необхідно постійно повторювати процедуру та оновлювати модель.

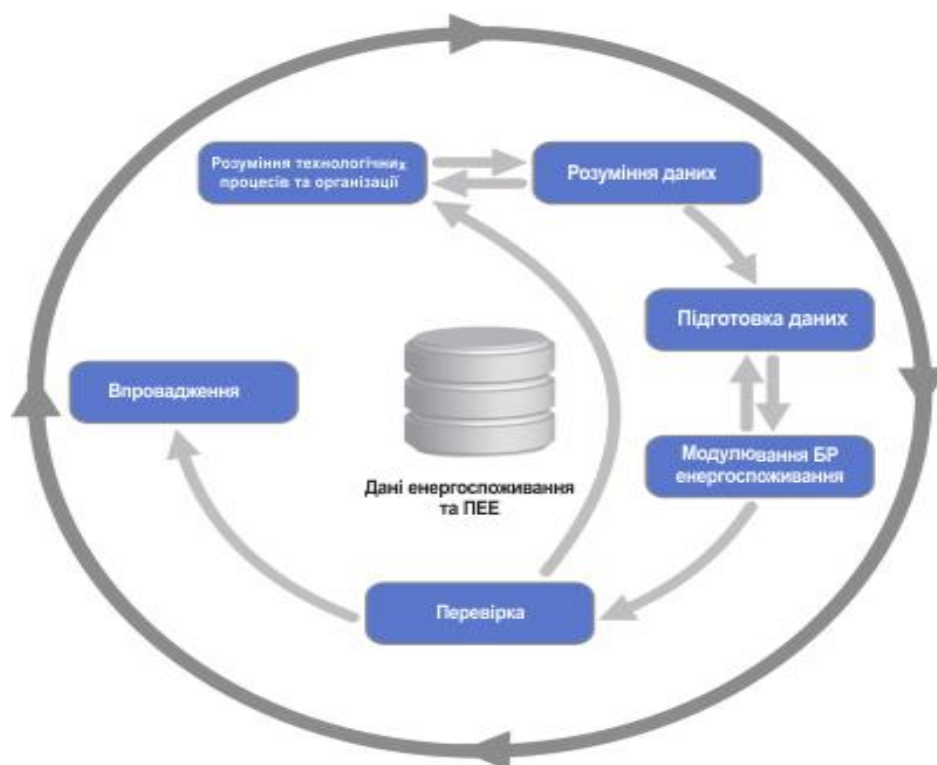


Рисунок 1.6 Етапи моделювання регресійної залежності згідно стандарту CRISP-DM

Висновки

1. Впровадження на підприємстві системи енергетичного менеджменту згідно вимог Стандарту ISO 50001 надає можливість підвищення конкурентоспроможності. В Стандарті ISO 50006 визначені методологічні вказівки до дотримання вимог Стандарту ISO 50001.

2. В умовах впровадження конкурентного ринку електричної енергії здатність контролю і планування споживання електроенергії є однією із ключових умов зниження плати за електроенергію для підприємств. Здатність будувати статистично значущі БРЕ дозволить підприємствам заключати максимально ефективні договори з постачальниками електричної енергії.

3. БР побудований на регресійній моделі прогнозування споживання енергії дає можливість не лише для планування бюджетних коштів, а і контролю ефективності діючого на підприємстві рівня енергетичної ефективності. Чим точніша модель прогнозування, тим якісніший проводиться контроль.

2 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПІДПРИЄМСТВА ЦУКРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

2.1 Дослідження технологічних процесів підприємства

В роботі досліджується контроль ефективності впроваджених заходів з енергозбереження на цукровому підприємстві. Підприємство входить до складу цукрової промисловості України. Основна інформація про діяльність підприємства представлена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Сектор промисловості	Харчова		
Підсектор	Цукрова		
Тип виробленої продукції	Цукор, продукти переробки бурякового жому		
Кількість співробітників, чол	400		
Виробнича площа, м ²	1 корпус	2 корпус	
	3056	2014	
Обсяг виробництва, т	2015	2016	2017
	Виготовлення цукру		
	437669	443340	451316
	Переробка цукрових буряків		
	64167	69832	71035
Споживання палива	2015	2016	2017
	Газ, тис. м ³		
	16541	15182	15843
	Вугілля, тис. т		
	1477	1431	1576
	Електроенергія МВт·год		
Загальна вартість ПЕР, тис. грн..	2015	2016	2017
	66764,5	67644,5	115477,5

Підприємство характеризується складними та енергоємними технологічними процесами. Структурно процес переробки бурякової маси представлено на рисунку 2.1.

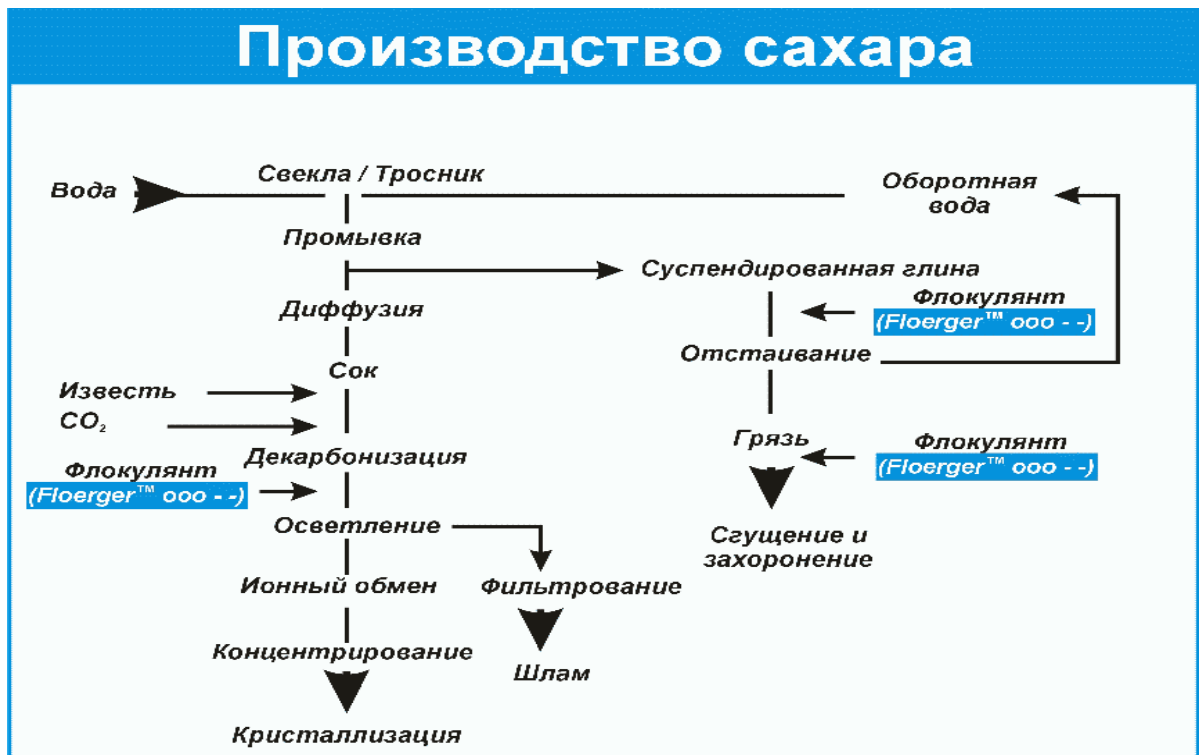


Рисунок 2.1. Схема вироблення цукора підприємства

Нижче описаний цикл переробки бурякового жому, розподілений по структурним підрозділам підприємства

Блок приймання сировини

Цукробуряковий жом як свіжий так і ферментований приймається з стрічкових транспортерів або ж автомобільним транспортом та подається на технологічну переробку за допомогою наземних рухомих столів розташованих в середині наземного бункера. Стіни та підлога бункера підігріваються для запобігання підморожування робочих органів рухомого столу за допомогою підігрівача підлоги. Жом рухомими столами завантажується в ротори, які розташовані в кінці рухомих столів. Ротори попереджають комкування та зліпання шарів жому, підтримують жом в дисперсному стані.

Блок подрібнення

Шнеки транспортують жом на вагові транспортери поз, де жом постійно зважується та відвантажується на молоткові дробарки за допомогою живильних шнеків. Молоткові дробарки безперервно подрібнюють жом. Подрібнений жом подають в змішувач.

Блок кондиціонування

Жом-пульпа надходить на шнеки з яких поступає на вертикальні спіральні шнеки, які піднімають подрібнений жом на транспортери. Транспортери по чергово завантажують змішувачі жомом-пульпою. В змішувачі також подається метанова бражка та нутрієнти. Подача метанової бражки із дайжастерів в змішувачі для потокового змішування з жомом-пульпою здійснюється за допомогою насосів безперервним потоком. Технологією передбачається мінімальний рівень подрібненого жому-пульпи для створення пробки і запобігання зворотного току суміші із нагнітальної магістралі в змішувачі. Із змішувачів субстрат подають на метаноферментацію.

Блок метаноферментації

Субстрат із змішувачів разом із рідкою сировиною від насосів подається в дайжастери, де здійснюється зброджування субстрату з утворенням біогазу. Ефективне зброджування забезпечується завдяки інтенсивному перемішуванню в дайжастерах за допомогою вертикальних міксерів. Для механічного руйнування піни застосовуються мішалки піногасники. При низькій ефективності механічного піногасіння застосовується хімічне піногасіння – розпилення піногаснику через сплнклерні системи піногасіння, які розташовані в верхній частині дайжастерів. Для відводу піни, яка досягла аварійного рівня передбачається трубопровід – піногон, який сполучає дайжастери з доброджувачами. В процесі метаноферментації виділяється неочищений біогаз.

Блок доброджування

Метанова бражка в постійному режимі самопливним трубопроводом розвантажується в доброджувачі. Біогаз, що утворюється в дайжастерах відводиться трубопроводами в доброджувачі під мембранну кришу, яка виконує роль накопичувача біогазу. Мембранна

кришка складається з 2 шарів: один шар закачується повітрям від вентиляторів для створення постійного надлишкового тиску в мембранному просторі для надання форми мембранній криші та створення протитиску біогазу; другий шар – це простір для накопичення біогазу над поверхнею рідини в доброджувачі. При виділенні біогазу повітряний шар частково стискається таким чином збільшуючи простір для накопичення біогазу, при цьому тиск біогазу значно не зростає. Біогаз з газового простору трубопроводами відводиться на вентилятори біогазу. В процесі доброджування отримуємо метанову бражку, яка подається на декантацію (розділення метанової бражки).

Блок декантації

Метанова бражка зливними трубопроводами з доброджувачів надходить на живильні насоси декантаторів. Декантатори розділюють метанову бражку на рідку та тверду фракції. Рідка фракція називається декантат, а тверда фракція – зневоднений мул. Утворений в процесі декантації зневоднений мул з вмістом СР 25 % трубопроводами відвантажується в портал зневодненого осаду, а декантат на сепарацію.

Блок сепарації

Декантат самопливом подається на гідро циклони. На гідро циклонах відбувається освітлення декантату та його розвантаження в 2-гу камеру збірника. Шлам з гідро циклонів самопливом подається в 1-шу камеру збірника. Із 1-ї камери збірника шлам разом із флотошлагом напірного флотатора подається насосами на живильні насоси декантаторів. Фугат з 2-ї камери збірника подається насосом на напірний флотатор. Шлам напірного флотатора самопливом подається в 1-шу камеру збірника.

Блок десульфінізації

Неочищений біогаз після метаноферментації подається на десульфінізацію. Вентилятори біогазу нагнітають біогаз в газову магістраль, де відбувається подальший розподіл потоків біогазу в

залежності від кількості біогазу, що споживається котельним блоком станції метанізації та ТЕЦ цукрового заводу. Якщо біогазу споживається менше ніж виробляється, то частина біогазу надходить на свічу біогазу для запобігання стравлювання біогазу в атмосферу. Основний потік біогазу надходить на очищення від сірководню на скруббер очищення біогазу, де відбувається промивання біогазу потоком зрошувальної води. Очищений біогаз направляється на виділення вологи в конденсатор біогазу. Після виділення вологи частина біогазу (приблизно 10% в зимовий період часу) направляється на котельний блок, де відбувається генерація теплової енергії для підтримання оптимальної температури процесу зброджування на рівні 37 С; основний потік біогазу 90% направляється в ТЕЦ цукрового заводу.

Блок регенерації

Зрошувальна вода після проходження через скруббер біогазу (називається відпрацьована) подається насосом на біореактор, де відбувається біологічне окислення сірководню до елементарної сірки та частково сульфатів. Зрошувальна вода після регенерації направляється через сплнклерну систему на промивку біогазу в скруббер очищення біогазу. Частина води виводиться із обороту та надходить на напірний флотатор для виділення сірки та надлишкової біомаси. Зрошувальна вода підживлюється свіжою водою, необхідною кількістю нутрієнтів та розчином каустичної соди для коригування рН.

Блок піногасіння

Піногасник розвантажується з автомобільного транспорту в збірник піногасника поз. Т-191 (60 м.куб), який застосовується для накопичення концентрату піногасника. Піногасник дозується насосами дозаторами та в змішувачі, де відбувається змішування піногасника з водою. Технологічна вода в змішувачі подається за допомогою насосів і після змішування розчин піногасника подається на сплнклерні системи дайжастерів

Реагентний блок

Реагентний блок представлений набором технологічних збірників солерозчинників з мішалками, перекачувальних насосів та насосів-дозаторів, які забезпечують розчинення, зберігання та дозування наступних хімічних реагентів:

Каустична сода (розчин гідроксиду натрію) – накопичується в рідкому вигляді в збірнику каустичної соди поз. R-701 та дозується за допомогою насоса дозатору поз. P-701 в трубопровід подачі промивної води на скруббер біогазу S-500.

Діамоній фосфат (розчин солі азотного та фосфорного живлення) розчиняється з порошку в збірнику-розчиннику поз. R-702 дозується за допомогою насоса дозатору поз. P-702 в трубопровід подачі промивної води на скруббер біогазу S-500.

Піногасник (силіконовий) - накопичується в рідкому вигляді в збірнику піногасника поз. R-703 та дозується за допомогою насоса дозатору поз. P-703 в змішувач M-500, де змішується з водою та подається в біореактор-десульфінізатор R-500 через сплнклерну систему.

Коагулянт (хлорид заліза) – накопичується в рідкому вигляді в збірнику коагулянту поз. R-704 та дозується за допомогою насоса дозатору поз. P-704 в трубопровід подачі на напірний флотатор F-430.

Флокулянт (поліакриламід (ПАА)) – розчиняється з порошку в розчиннику ПАА поз. R-705 та перекачується насосом в збірник розчину ПАА поз. R-706 та дозується за допомогою насоса дозатору поз. P-706 в трубопровід подачі на напірний флотатор F-430.

На рисунку 2.2 представлений розподіл споживання електричної енергії між структурними підрозділами підприємства.



Рисунок 2.2. Розподіл використання електричної енергії між
секторами підприємства за 2017 рік

2.2 Аналіз енергозабезпечення підприємства

Підприємство споживає три типи енергоносіїв: електроенергію, природний газ та вугілля. Більша частина енергії використовується в технологічних потребах. На рисунках 2.3-2.5 зображено зміну тенденції споживання кожного типу енергоносія протягом одного місяця.

Рисунок 2.3 Порівняння тенденції споживання електроенергії
протягом місяця за останні три роки

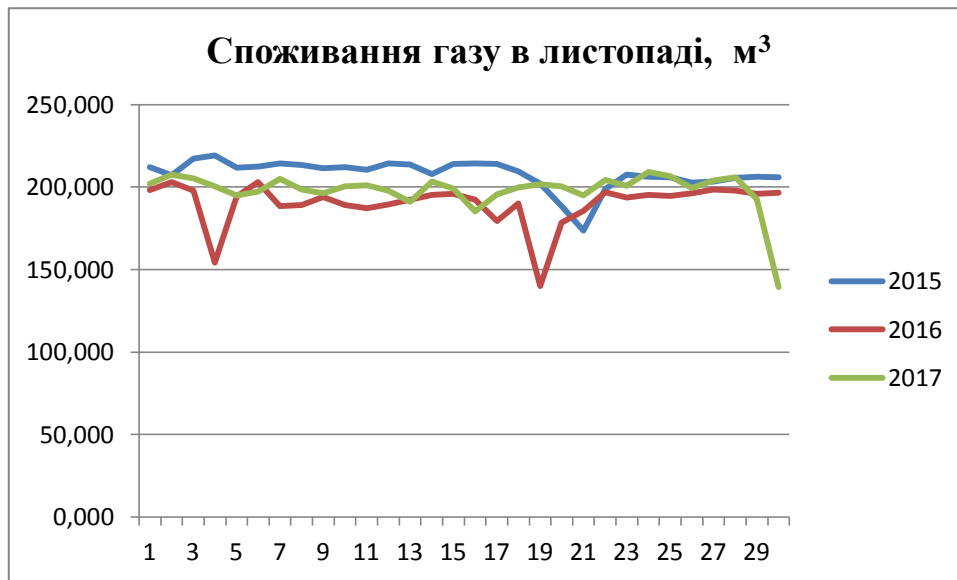


Рисунок 2.4 Порівняння тенденції споживання природного газу протягом місяця за останні три роки

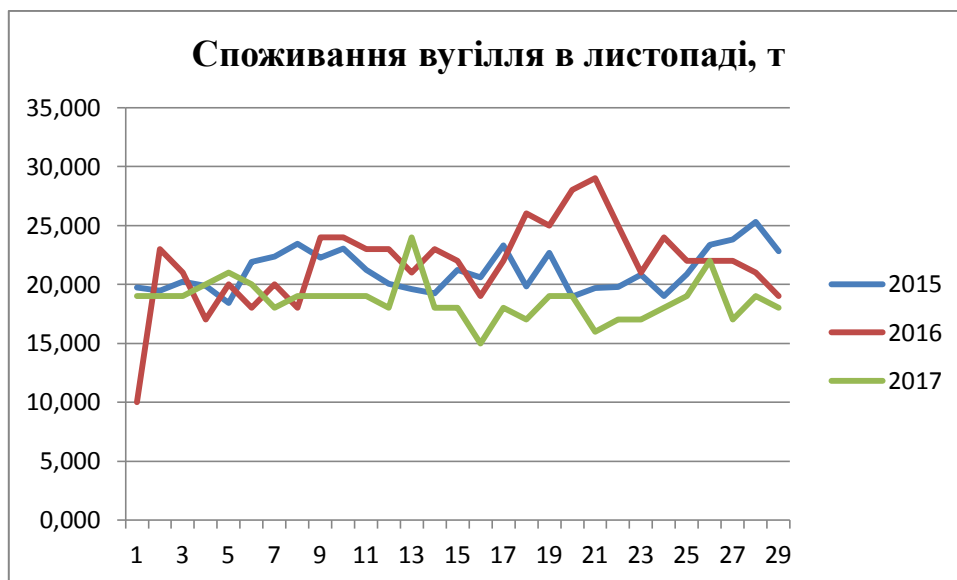


Рисунок 2.5 Порівняння тенденції споживання вугілля протягом місяця за останні три роки

Як можна побачити з графіків, процес енергоспоживання на підприємстві не характеризується циклічною часовою сезонністю, що свідчить про залежність споживання ПЕР від попиту на виготовлення продукції. Як можна помітити, підприємство скоротило споживання електричної енергії протягом 2017 року. Це пов'язано з встановленням когенераційної установки в приміщенні котельної.

2.3 Вибір потенційних чинників для побудови базового рівня енерговикористання

За результатами енергетичного аналізу підприємства визначений перелік чинників, що мають вплив на БР енергоспоживання кожного типа. В таблиці 2.2 наведено тестову вибірку чинників, що впливають на процес споживання електроенергії.

Таблиця 2.2

Чинник	Короткий опис	Тип енергоносія, на який може мати вплив	Умовне позначення
Кількість перероблених буряків, т	Кількість буряків, що були використані для виготовлення цукру та іншої продукції	Електроенергія, газ, вугілля	X1
Ступінь в'ялості коренеплоду, %	Вимірюється вміст вологи для певної маси буряків та порівнюється з нормою	Електроенергія, газ, вугілля	X2
Відсоток сахарози в буряковій стружці, %	Так як під час обробки буряк втрачає певну частину хімічно активних речовин, рекомендовано перевірити вміст сахарози в буряковій стружці	Електроенергія, газ, вугілля	X3
Відсоток сахарози в буряку, %	Окрім сахарози в буряку є вміст глюкози і фруктози. Від даної величини залежить скільки цукру потенційно можна добути підприємством	Електроенергія, газ, вугілля	X4
Відсоток α-амінованого азоту, ммоль/100г буряків	Характеризує якість сировини	Електроенергія, газ, вугілля	X5
Вміст гнилих буряків, %	Велечина, що впливає на продуктивність процесу переробки буряку	Електроенергія, газ, вугілля	X6
Вироблення цукру, т	Випуст основної продукції	Електроенергія, Газ, Вугілля	X7
Цукроза на верстаті, т	Характеризує втрати випущеної продукції	Електроенергія, Газ, Вугілля	X8

Продовження таблиці 2.2

Вихід цукру, %	Характеризує продуктивність вироблення цукру	Електроенергія, Газ, Вугілля	X9
Втрати цукру у виробництві, %	Велечина, що характеризує втрати випущеної продукції	Електроенергія, Газ, Вугілля	X10
Вміст цукру в мелясі, %	Велечина, що характеризує якість випущеної продукції	Електроенергія, Газ, Вугілля	X11
Вироблення меляси, т	Випуск продукції	Електроенергія, Газ, Вугілля	X12
Вироблення жому, т	Випуск продукції	Електроенергія, Газ, Вугілля	X13
Відкачка відносно буряків, %	Відсоток використаної води для технологічних потреб при обробці буряків	Газ, Вугілля	X14
Вироблення сирого жому, т	Кількість неперобленого жому, характеризує втрати певного типу продукції	Електроенергія, Газ, Вугілля	X15
Вироблення сирого жому, т	Кількість неперобленого жому, характеризує втрати певного типу продукції	Електроенергія, Газ, Вугілля	X16
Витрати вапняку в піч, т	Сировина, використана в технологічних потребах	Газ, Вугілля	X17
Витрати вапняку на виробництво, т	Сировина, використана в технологічних потребах	Електроенергія, Газ, Вугілля	X18
Відношення вугілля/камінь, %	Характеризує якість поставленого енергоносія	Вугілля	X19
Номер дня тижня	Характеризує можливості в операційному контролі енергоефективності	Електроенергія, Газ, Вугілля	X20
Наявність вихідного дня, чи свята	Характеризує можливості в операційному контролі енергоефективності	Електроенергія, Газ, Вугілля	X21

Чинники, що представлені в таблиці 2.2 мають високу ймовірність взаємозалежності, так як є певний зв'язок між технологічними процесами, які вони характеризують. Також, аналізуючи вплив кожного чинника на процес енерговикористання, можливо визначити технологічні сегменти підприємства, в яких існують наявні можливості покращення рівня енергетичної ефективності.

Висновки

1. Підприємство активно займається питання енергетичної ефективності. Графіки споживання енергоносіїв показали тенденцію зменшення витрат енергії при постійному обсязі випуску цільової продукції. Також на підприємстві існує облік показників електричної енергії, які можуть бути включені в модель БР енергоспоживання

2. На основі енергетичного аналізу підприємства були обрані чинники, що мають потенційний вплив на процес енерговикористання. Критеріями вибору чинників була наявність регулярного моніторингу, пов'язаність з певним технологічним процесом, або групою процесів на підприємстві, дискретність та визначеність розмірності.

3. Так як певні технологічні процеси пов'язані між собою з точки зору енерговикористання, в наступному розділі проведений кореляційно-регресійний аналіз чинників з метою усунення колінеарності.

3 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕНИХ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ЦУКРОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

БРЕ доцільно застосовувати для порівняння значень енергоефективності протягом тривалого часу та кількісного оцінювання змін в рівні досягнутої енергоефективності [13]. Для побудови ефективної БРЕ енергоспоживання необхідно побудувати статистично значущу залежність між величиною енергоспоживання та чинниками.

3.1 Кореляційний аналіз чинників, що впливають на процес енерговикористання

Побудова регресійної залежності зазвичай має певні вимоги до незалежних змінних. З теорії статистики відомо, що незалежна змінна вибирається експериментатором з метою з'ясувати її вплив на залежну змінну і не повинна залежати від інших параметрів експерименту [14]. Саме тому важливою умовою побудови регресійної моделі є перевірка чинників на взаємозалежність, або мультиколінеарність.

З п. 2 ми визначили чинники, які мають потенційний вплив на процес споживання кожного типу енергоносія на підприємстві. Побудуємо матрицю кореляцій Пірсона для кожного наботу чинників використовуючи пакет «Аналіз даних» в програмі MS «Excel». Результат представлено у таблиці 3.1. Коефіцієнт кореляції Пірсона визначається за формулою [15]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}}, r_{xy} \in [-1, 1] \quad (1.1)$$

де \bar{x}, \bar{y} - середні значення змінних, m – обсяг вибірки

$|r_{xy}| = 1$ - існує абсолютна лінійна залежність;

$|r_{xy}| = 0$ - відсутня будь яка лінійна залежність;

Продовження таблиці 3.1

X1 ₆	1,0	-0,1	0,1	-0,1	0,2	0,2	0,7	0,6	0,0	-0,4	-0,3	0,5	0,6	-0,5	0,9	1								
X1 ₇	0,6	-0,2	0,3	-0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	-0,1	-0,3	0,1	0,4	0,5	-0,3	0,5	0,6	1							
X1 ₈	0,6	-0,3	0,3	-0,3	0,4	0,3	0,3	0,6	-0,2	-0,2	0,1	0,4	0,5	-0,3	0,6	0,6	1,0	1						
X1 ₉	0,0	0,6	0,0	0,6	-0,5	-0,1	0,2	0,0	0,6	-0,4	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1					
X2 ₀	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,1	-0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	1				
X2 ₁	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	1			
Y1	0,8	0,4	-0,1	0,4	-0,3	0,2	0,8	0,2	0,5	-0,7	-0,4	0,4	0,6	-0,3	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	1		
Y2	0,9	-0,1	0,0	-0,1	0,2	0,2	0,7	0,5	0,0	-0,4	-0,3	0,4	0,8	-0,5	0,9	0,9	0,5	0,6	-0,1	0,1	0,1	0,7	1	
Y3	0,5	0,2	0,1	0,2	0,0	0,1	0,5	0,4	0,2	-0,4	0,0	0,3	0,3	-0,2	0,5	0,5	0,7	0,7	0,6	0,0	-0,1	0,6	0,4	1

Побудуємо теплову карту розподілу коефіцієнта кореляції Пірсона між чинниками. Для цього використаємо програмний пакет візуалізації статистичних розрахунків «Seaborn». Результат зображено на рисунку.

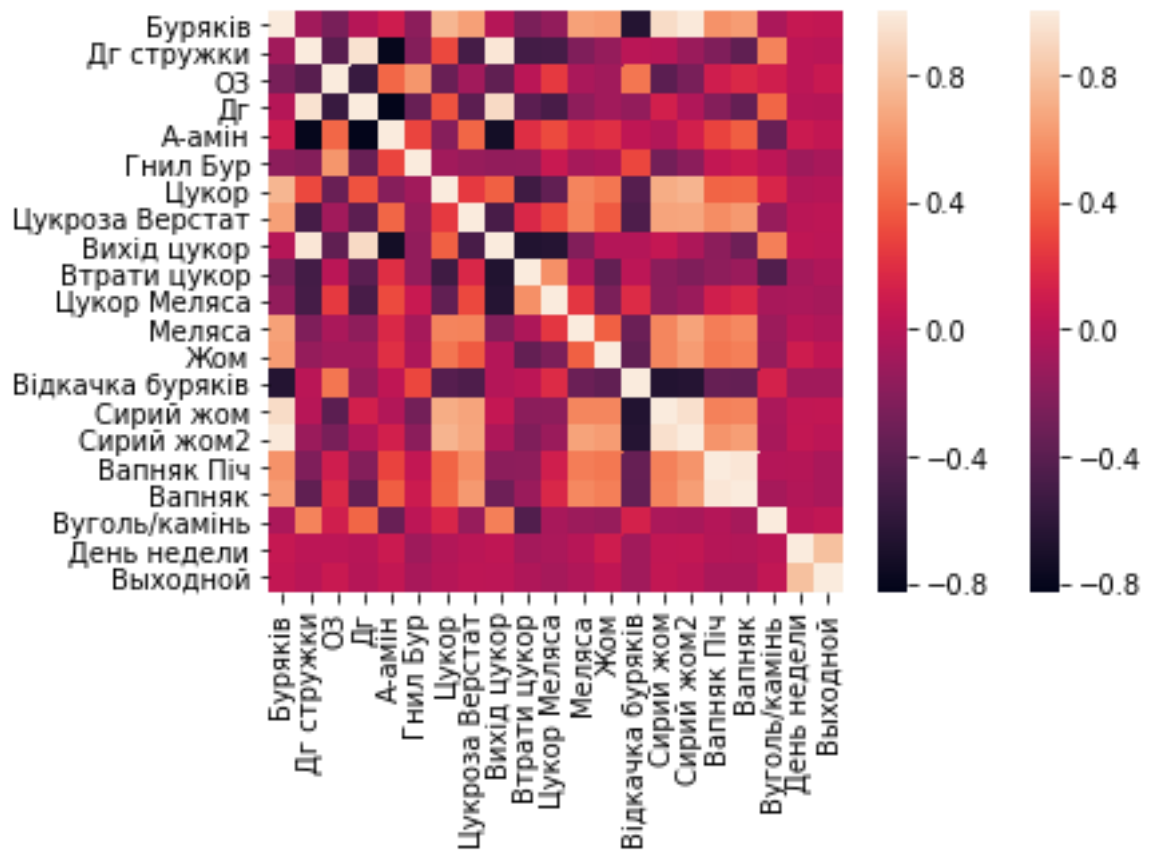


Рисунок 3.1 Теплова карта розподілу коефіцієнту кореляції Пірсона між чинниками

Як можна побачити з таблиці 3.1 та рисунку 3.1 певні пари чинників колінеарні між собою, тому при регресійному аналізі частину чинників необхідно вилучити.

3.2 Розрахунок базового рівня енергоспоживання методом лінійної регресії

Модель багатофакторної лінійної регресії дозволяє встановити кількісний взаємозв'язок між певною цільовою змінною та вектором незалежних змінних. При моделювання лінійної регресії взаємозв'язок моделюється за допомогою лінійних функцій[16].

Приклад встановлення лінійної залежності між двома змінними зображено на рисунку.

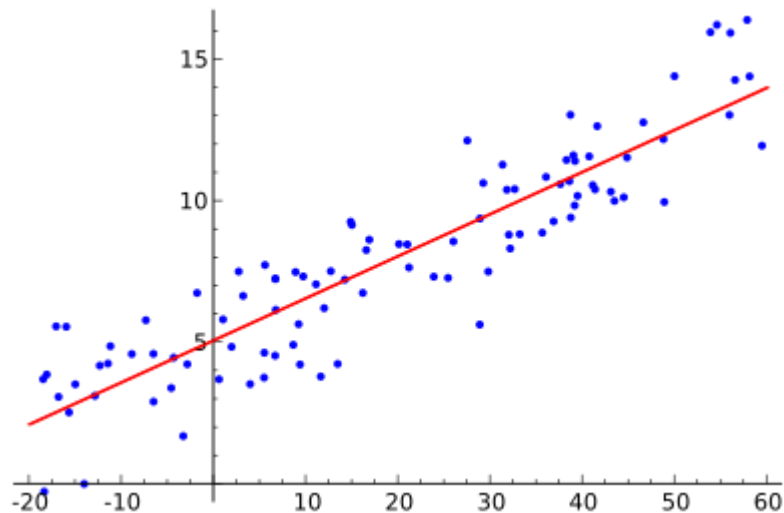


Рисунок 3.2 Приклад встановлення лінійної залежності між двома змінними

Встановлюється лінійна залежність між цільовою змінною та незалежними змінними, а невідомі параметри знаходяться за вхідними даними. Функція лінійної регресії набуває вигляд:

$$\tilde{y}_i = \theta_0 + \sum_j \theta_j x_{ij}, \quad (3.2)$$

де θ_0 -перетин з віссю координат (в контексті даної задачі – постійне навантаження на об'єкті);

θ -лінійні коефіцієнти, або параметри моделі для кожної незалежної змінної(чинника);

x_i -незалежна змінна;

i – номер вибірки;

j – номер незалежної змінної;

\tilde{y} -залежна(цільова) змінна

При знаходженні оптимальних параметрів моделі використовують метод найменших квадратів[17]. Після розв'язання системи рівнянь отримуються значення лінійних коефіцієнтів, які відповідають умовам системи рівнянь.

Для побудови лінійного регресійного рівняння використаємо пакет «Аналіз даних» в програмі MS «Excel». Процес побудови та тестування методу лінійної регресії розгорнуто описано в Додатку А. Для оцінки адекватності моделі використані наступні параметри:

1. Критерій Фішера (Значимість F в регресійних таблицях) – статистичний критерій, що перевіряє виконання розподілу Фішера при виконанні нульової гіпотези [18]. Тест проводиться шляхом порівняння значення статистики з критичним значенням розподілу Фішера при заданому рівні значимості. В нашому випадку рівень значимості $\alpha = 0.05$
2. Коефіцієнт детермінації R^2 – частка дисперсії цільової змінної, що визначена встановленим рівнянням. Чим більше, тим краща модель при дотриманні інших умов адекватності
3. P – значення – ймовірність відхилення гіпотези про зв'язок між двома величинами. Якщо p -значення більше встановленого рівня значимості, чинник бажано видалити з моделі

Виключивши чинники що не мали лінійної залежності та були колінеарними ми отримали модель, що задовольняє умовам статистичної значимості. Як ми можемо побачити з таблиці 3.2, коефіцієнт значимості Фішера F та величина p -значення для кожного чинника складає менше 0,1, коефіцієнт детермінації R^2 , близький до 90%. Тобто близько 90% змін значень електричної моделі пояснюється змінами чинників, встановлених в моделі з ймовірністю 95%.

Згідно таблиці 3.2 встановлена БР є статистично значущою, тому можна перевірити точність прогноза. За формулою (3.3) розрахуємо очікуване значення споживання електричної енергії на 31 день січня 2018 року та перевіримо з фактичним значенням за цей період. Результат розрахунку представлено на рисунку

Результат встановлення БР для процесу споживання електроенергії на підприємстві представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Регрессионная статистика							
Множественный R	0,93	Дисперсионный анализ					
R-квадрат	0,86		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Нормированный R-квадрат	0,85	Регрессия	6	9,6E+09	1,6E+09	80,9943	6,6E-32
Стандартная ошибка	4439,30	Остаток	80	1,6E+09	2E+07		
Наблюдения	87,00	Итого	86	1,1E+10			
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижнее 95%</i>	<i>Верхнее 95%</i>	
Y-пересечение	36592,32	17310	2	0,04	2143	71041	
Буряки	6,08	1	8	0,00	5	8	
Вихід цукор	7191,69	1628	4	0,00	3951	10432	
Цукор	9,84	5	2	0,06	0	20	
Цукор Меляса	20921,66	3847	5	0,00	13266	28577	
Жом	45,64	15	3	0,00	15	76	

Отже, за формулою (3.2) рівняння лінійної регресії для процесу електроспоживання:

$$\tilde{y} = 36592,3 + 6,08 \cdot x_1 + 7191,69 \cdot x_2 + 9,84 \cdot x_3 + 20921,66 \cdot x_4 + 45,64 \cdot x_5, \quad (3.3)$$

де x_1 – обсяг використаних буряків, т;

x_2 – відносна продуктивність вироблення цукру, %;

x_3 – обсяг виробленого цукру, т;

x_4 – вміст цукру в виробленій мелясі, %;

x_5 – обсяг виробленого жому, т;

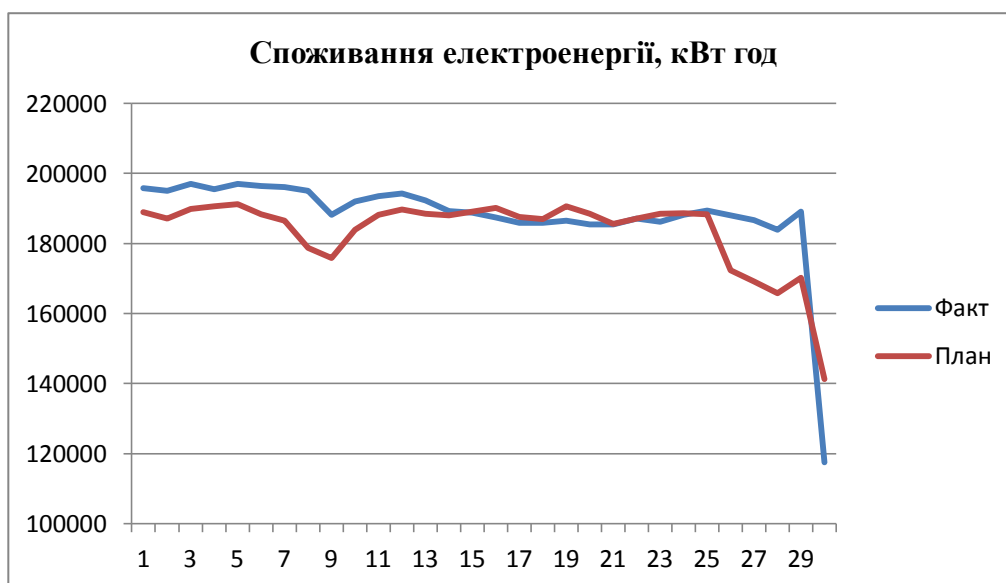


Рисунок 3.3 Порівняння значень планового та фактивного електроспоживання за січень 2018 року

Результат встановлення БР для процесу споживання природного газу на підприємстві представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Регрессионная статистика							
Множественный R	0,96	Дисперсионный анализ					
R-квадрат	0,93		df	SS	MS	F	Значимость F
Нормированный R-квадрат	0,92	Регрессия	7	53968	7710	152	4,36E-43
Стандартная ошибка	7,13	Остаток	79	4016	51		
Наблюдения	87,00	Итого	86	57984			
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	
Y-пересечение	182,72	16,0	11,5	2E-18	151,0	214,5	
Буряк	0,01	0,0	10,8	3E-17	0,0	0,0	
ОЗ	-2,66	1,0	-2,7	1E-02	-4,7	-0,7	
Жом	0,22	0,0	9,3	2E-14	0,2	0,3	
Меляса	-0,04	0,0	-2,0	5E-02	-0,1	0,0	
Гнил Бур	-14,91	8,2	-1,8	7E-02	-31,2	1,3	
Цукор	0,04	0,0	4,0	1E-04	0,0	0,1	
Вихід цукор	-4,08	0,8	-5,0	4E-06	-5,7	-2,4	

Як можна побачити з таблиці 3.3 модель розрахунку БР є статистично значущою, тому може бути використана для оцінки енергоефективності споживання природного газу. За формулою (3.2) рівняння лінійної регресії для споживання газу:

$$\begin{aligned} \tilde{y} = & 182,72 + 0,01 \cdot x_1 - 2,66 \cdot x_2 + 0,22 \cdot x_3 \\ & - 0,04 \cdot x_4 - 14,91 \cdot x_5 + 0,04 \cdot x_6 - 4,08 \cdot x_7, \end{aligned} \quad (3.4)$$

де x_1 –обсяг використаних буряків, т;

x_2 – ступінь в'ялості корнеплоду, %;

x_3 – обсяг виробленого жому, т;

x_4 –обсяг виробленої меляси, т;

x_5 – відсоток гнилих буряків, %;

x_6 – обсяг виробленого цукру, т;

x_7 – відносна продуктивність вироблення цукру, %;

За формулою (3.4) розрахуємо очікуване значення споживання природного газу за січень 2018 року та перевіримо з фактичним значенням за відповідний період. Результат розрахунку представлено на рисунку



Рисунок 3.4 Порівняння значень планового та фактивного споживання природного газу підприємством за січень, 2018 року

Результат встановлення БР для процесу споживання вугілля на підприємстві представлено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

<i>Регрессионная статистика</i>							
Множественный R	0,91	Дисперсионный анализ					
R-квадрат	0,82		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Нормированный R-квадрат	0,81	Регрессия	6	1137	189	62	5,9E-28
Стандартная ошибка	1,75	Остаток	80	246	3		
Наблюдения	87,00	Итого	86	1382			
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	
Y-пересечение	-9,83	4,52	-2,17	0,03	-18,83	-0,84	
Буряків	0,00	0,00	-2,74	0,01	0,00	0,00	
Дг стружки	1,99	0,93	2,13	0,04	0,13	3,84	
Дг	-1,96	1,03	-1,91	0,06	-4,01	0,09	
Сирий жом2	0,00	0,00	3,26	0,00	0,00	0,01	
Вапняк Піч	0,05	0,01	9,87	0,00	0,04	0,06	
Вуголь/камінь	2,04	0,26	7,82	0,00	1,52	2,55	

Як можна побачити з таблиці 3.4 модель розрахунку БР є статистично значущою, тому може бути використана для оцінки енергоефективності споживання вугілля підприємством. За формулою (3.2) рівняння лінійної регресії для споживання газу:

$$\begin{aligned} \tilde{y} = & -9,83 + 0,003 \cdot x_1 + 1,99 \cdot x_2 - 1,96 \cdot x_3 \\ & + 0,004 \cdot x_4 + 0,05 \cdot x_5 + 2,04 \cdot x_6, \end{aligned} \quad (3.5)$$

де x_1 –обсяг використаних буряків, т;

x_2 – відсоток сахарози в буряковій стружці, %;

x_3 – відсоток сахарози в бурякові, т;

x_4 – обсяг вироблення сирого жому, т;

x_5 – використання вапняку в піч, т;

x_6 – вміст каменю в вугіллі, %;

За формулою (3.5) розрахуємо очікуване значення споживання природного газу за січень 2018 року та перевіримо з фактичним значенням за відповідний період. Результат розрахунку представлено на рисунку



Рисунок 3.5 Порівняння значень планового та фактивного споживання антрацитового вугілля підприємством за січень, 2018 року

3.3 Розрахунок базового рівня енергоспоживання методом екстремального градієнтного підсилювання

Метод лінійної регресії – найпоширеніший метод машинного навчання для побудови залежності між змінними. Перевагами даного методу є простота впровадження, наявна інтерпретація результатів та велика кількість валідаційних метрик[19]. Основною статистичною ідеєю даного методу є гіпотеза про детерміновану лінійну залежність між цільовою та незалежною змінною. Докладніше про ймовірнісну перевірку гіпотези про залежність змінної описано в додатку А на прикладі енергетичних даних підприємства.

Наявна лінійна залежність при побудові регресійної моделі дає певні переваги, а саме:

- велика кількість методів кількісної оцінки залежності між двома факторами (наприклад коефіцієнт кореляції Пірсона, який не чутливий до нелінійних типів взаємодії)
- наявність при побудові функціональної залежності між параметрами
- велика кількість методів валідації моделей, побудованих на лінійній залежності

3.3.1 Нелінійність функції залежності змінних

На практиці функція залежності цільової змінної від незалежної може мати нелінійний характер. Чинники які мають нелінійний вплив на цільову велечину при побудові лінійної регресії або відхиляються, або викликають похибку в моделі. Спробуємо дослідити взаємозв'язок між чинниками та цільовою функцією за допомогою точкової діаграми[]. Чинники, які використані в моделі лінійної регресії пройшли перевірку гіпотези про лінійність взаємозв'язку, тобто мають достовірний лінійний зв'язок з певною цільовою функцією.

Чинники, які були вилучені з моделі можуть бути характеризовані двома способами:

- 1 Цільова функція, в даному випадку процес споживання певного енергоносія, не має залежності від чиннику.
- 2 Існує залежність нелінійного характеру між величинами

Спробуємо дослідити певні чинники, які були виключені з моделі на тип взаємозв'язку з залежною змінною. Після обробки буряк перетворюється в сироп, який далі піддають термічній обробці, використовуючи газові прилади. Так як від ступеня в'ялості сировини залежить кількість термічно-оброблюваного сиропу, має бути потенційний зв'язок цього чинника з процесом споживання газу. На рисунку представлено точкову діаграму залежності споживання природного газу від ступені в'ялості споживаної сировини. Діаграма

побудована з допомогою програмного пакету «Seborn» з допомогою функції «Jointplot» [20].

Як можна побачити з рисунку коефіцієнт кореляції Пірсона характеризує досить слабку зворотню лінійну залежність величиною $-0,2$. Проте ймовірність помилки першого роду кладає також досить низьке значення $<0,05$. Це свідчить про те, що не можна відхиляти гіпотезу про залежність двох змінних[21]. Також можна помітити, що обидві величини мають статистичний розподіл схожої форми, близький до нормального. Тому можна зробити гіпотезу про нелінійну залежність цих двох чинників один від одного.

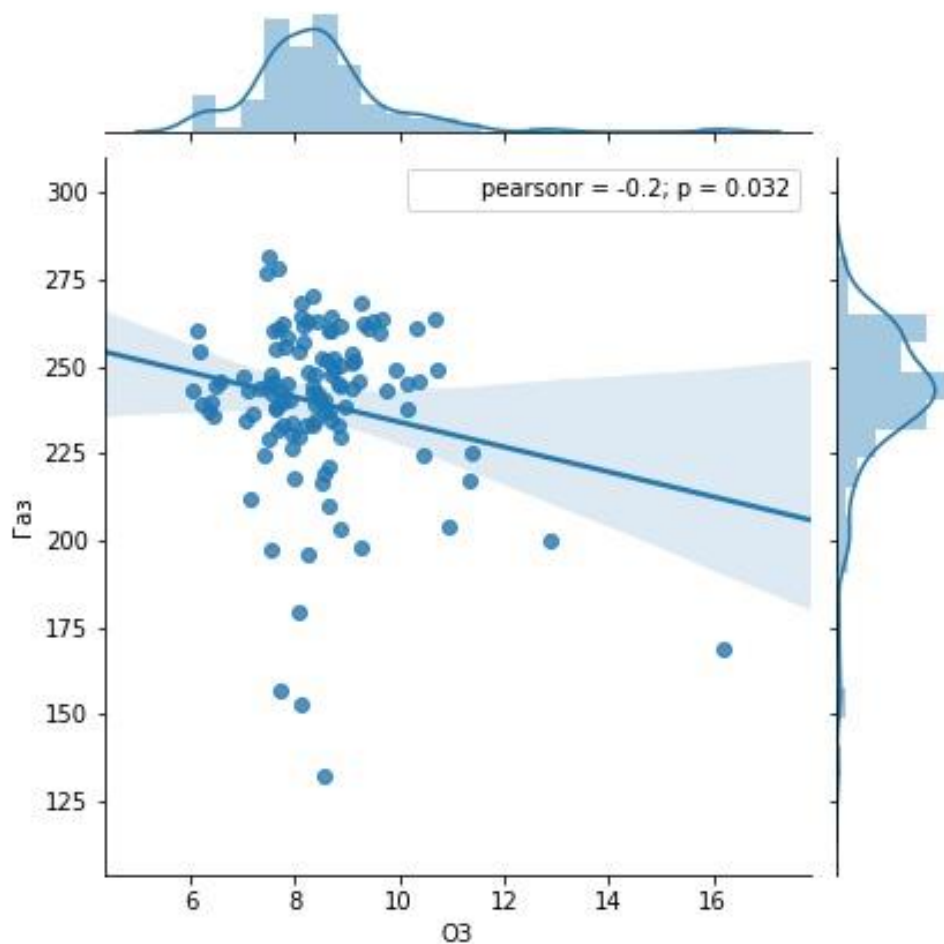


Рисунок 3.6 Точкова діаграма залежності споживання газу та ступені в'ялості бурякової сировини

Спробуємо побудувати складнішу модель регресійного аналізу для вирішення проблеми нелінійності зв'язку з чинниками та порівняємо результат з лінійною регресією.

3.3.2 XGBoost регресійна модель

В задачах дослідження регресійних моделей в змаганнях по «Data Science» найбільш ефективною вважається модель екстремального градієнтного підсилення[22]. Основною ідеєю даного методу є відтворення функції залежності між цільовою та незалежними змінними мінімізуючи функцію емпіричних втрат ітеративно шляхом оптимізації наближень.

Нехай існує функція залежності величини витрат певного енергоносія, представлена у формулі(3.1). Для визначення оптимальних параметрів θ_j необхідно мінімізувати наступну функцію:

$$obj(\theta) = L(\theta) + \Omega(\theta), \quad (3.5)$$

де L – функція втрат, а Ω – функція регуляризації

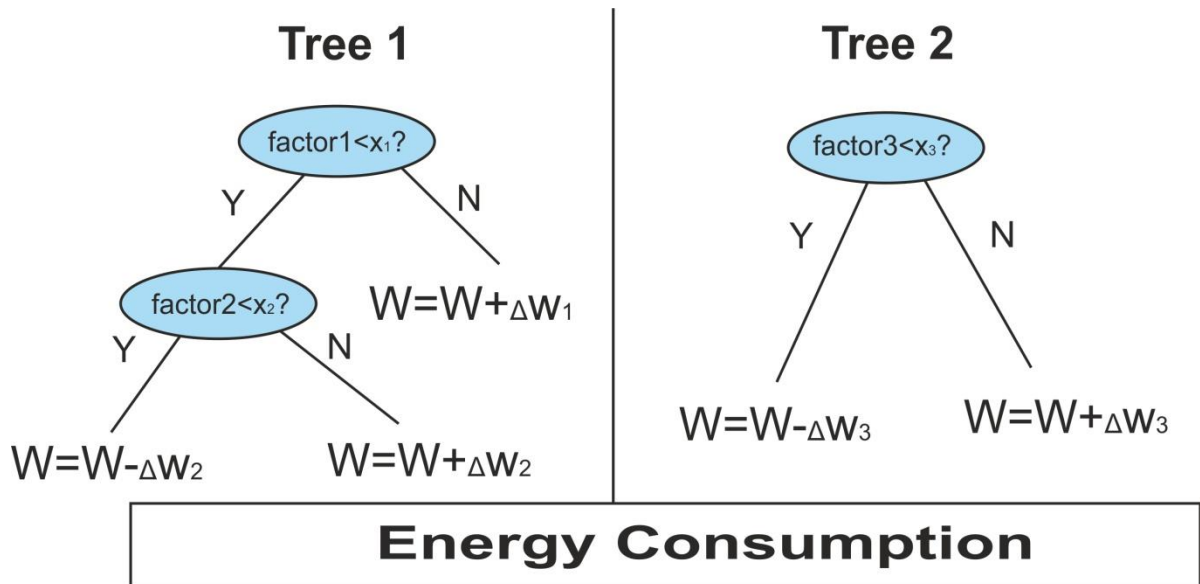
Функція втрат визначає прогностичну спроможність моделі відносно тренувальних даних[23]. Для проблем регресійної залежності зазвичай використовують метод середньоквадратичної похибки, тобто:

$$L(\theta) = \sum_i (y_i - \tilde{y}_i)^2, \quad (3.6)$$

Функція регуляризації визначає складність моделі та допомагає уникнути проблеми перенавчання[24]. Так як в основі бустингу математично лежить метод бустингових дерев, тобто ансамблю дерев рішень, які доповнюють один одного, математично можна описати модель як:

$$\tilde{y}_i = \sum_{k=1}^K f_k(x_i), f_k \in F \quad (3.7)$$

де K – кількість дерев, f – функція функціонального простору F , - множина всіх можливих дерев.



$$W = f(\sum x_i) = \sum (f(\text{trees})) = f(\text{tree1}) + f(\text{tree2}) \dots$$

Рисунок 3.7 Принцип побудови бустингових дерев для встановлення БР енергоспоживання

Підставивши (3.7) в (3.5) отримуємо функцію, яку необхідно мінімізувати:

$$obj = \sum_{i=1}^n l(y_i, \tilde{y}_i^{(t)}) + \sum_{i=1}^t \Omega(f_i), \quad (3.8)$$

Кожна функція f_i містить деревовидну структуру з параметрами листів. На рисунку зображена структура бустингово дерева для вирішення задачі прогнозування споживання електричної енергії. Визначення деревовидної функції набагато тяжче, ніж традиційна задача оптимізації з допомогою градієнту. Головна проблема в тому, що неможливо визначити всі дерева одночасно. Тому для вирішення даної задачі використовується адитивна стратегія: додавання по одному дереву до визначеного дерева за один раз[25]. Значення кроку t записується як $\tilde{y}_i^{(t)}$. Функція матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \tilde{y}_i^{(0)} &= 0 \\ \tilde{y}_i^{(1)} &= f_1(x_i) = \tilde{y}_i^{(0)} + f_1(x_i) \\ \tilde{y}_i^{(2)} &= f_1(x_i) + f_2(x_i) = \tilde{y}_i^{(1)} + f_2(x_i) \\ &\dots \\ \tilde{y}_i^{(t)} &= \sum_{k=1}^t f_k(x_i) = \tilde{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i), \end{aligned} \quad (3.9)$$

При використанні середньоквадратичного відхилення в якості функції похибки, необхідно мінімізувати наступну функцію:

$$\begin{aligned} obj^{(t)} &= \sum_{i=1}^n (y_i - (\tilde{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i)))^2 + \sum_{i=1}^t \Omega(f_i) = \\ &= \sum_{i=1}^n \left[2(\tilde{y}_i^{(t-1)} - y_i) f_t(x_i) + f_t(x_i)^2 \right] + \Omega(f_t) + const \end{aligned} \quad (3.10)$$

Якщо підставити в (3.10) дану формулу:

$$\begin{aligned} g_i &= \partial_{\tilde{y}_i^{(t-1)}} l(y_i, \tilde{y}_i^{(t-1)}) \\ h_i &= \partial_{\tilde{y}_i^{(t-1)}}^2 l(y_i, \tilde{y}_i^{(t-1)}), \end{aligned} \quad (3.11)$$

То отримаємо:

$$\sum_{i=1}^n (g_i f_t(x_i) + \frac{1}{2} h_i f_t^2(x_i)) + \Omega(f_t), \quad (3.12)$$

В рівнянні (3.12) значення цільової функції залежить лише від g_i та h_i . Тепер, коли визначено рівняння функції втрат, необхідно дослідити функцію регуляризації. Для того, щоб оцінити складність дерева $\Omega(f_t)$, необхідно встановити визначення дерева $f(x)$:

$$f_t(x) = \omega_{q(x)}, \omega \in R^T, q: R^d \rightarrow \{1, 2, \dots, T\}, \quad (3.13)$$

де ω -вектор оцінок на листах, q – функція, що присвоює кожну точку даних певному листу, T – кількість листів. В XGBoost моделі складність визначається за формулою:

$$\Omega(f) = \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \sum_{j=1}^T \omega_j^2, \quad (3.14)$$

Оптимальні значення цільової функції для t -го дерева визначаються за формулою:

$$\begin{aligned} obj^{(t)} &\approx \sum_{i=1}^n \left[g_i \omega_{q(x_i)} + \frac{1}{2} h_i \omega_{q(x_i)}^2 \right] + \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \sum_{j=1}^T \omega_j^2 = \\ &= \sum_{j=1}^T \left[\left(\sum_{i \in I_j} g_i \right) \omega_j + \frac{1}{2} \left(\sum_{i \in I_j} h_i + \lambda \right) \omega_j^2 \right] + \gamma T \end{aligned} \quad (3.15)$$

Побудуємо модель екстремального градієнтного підсилювання використовуючи програмну бібліотеку XGBoost[26]. Для розрахунку

використаємо середовище Jupyter та мову програмування Python для математичних та ітераційних операцій. Програмний код налаштування та впровадження XGBoost середовища наведено в додатку Б. Порівняльний аналіз результатів прогнозу методами лінійної регресії та екстремального градієнтного підсилення представлено у рисунках 3.7-3.9 для споживання електроенергії, газу та вугілля відповідно.

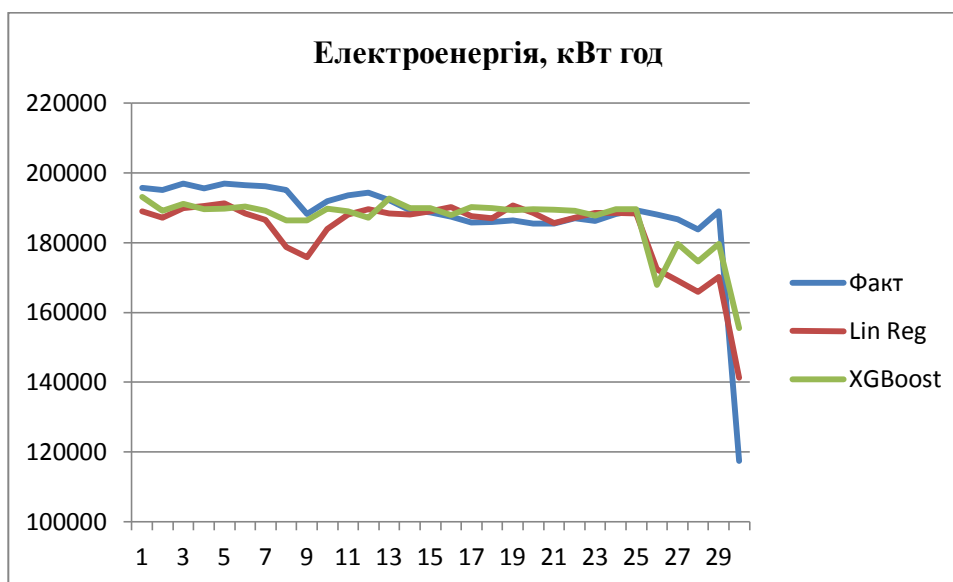


Рисунок 3.7 Порівняння спрогнозованих та фактичних значень споживання електроенергії на січень 2018 року

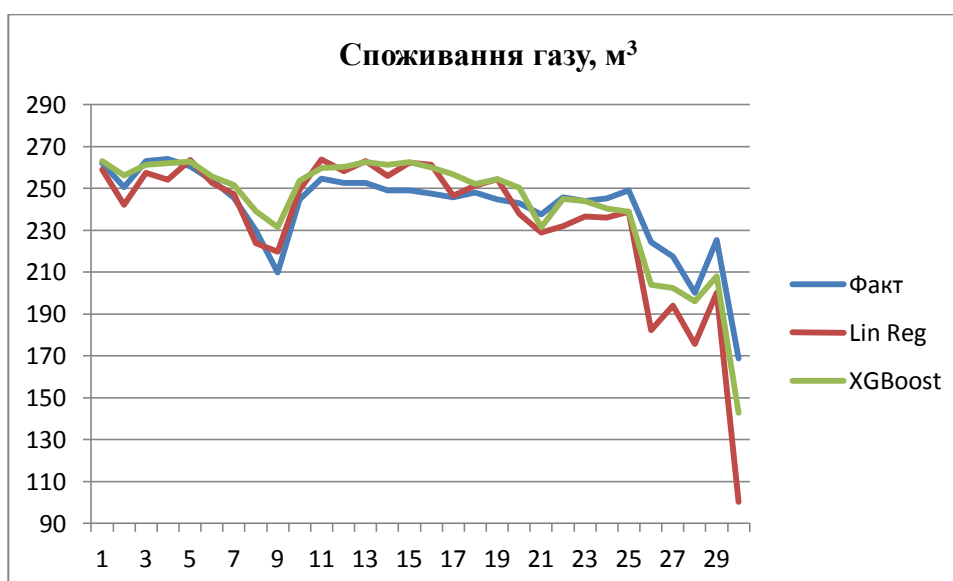


Рисунок 3.8 Порівняння спрогнозованих та фактичних значень споживання природного газу на січень 2018 року

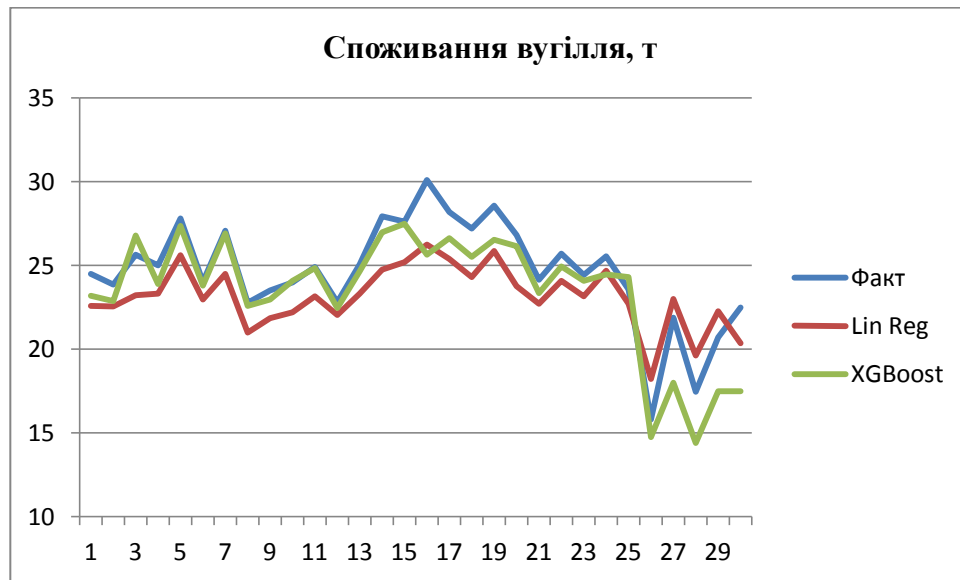


Рисунок 3.9 Порівняння спрогнозованих та фактичних значень споживання вугілля на січень 2018 року

Як можна побачити з графіків, прогнозовані значення споживання з використання моделі XGBoost знаходяться ближче до фактичних. Розрахована середньоквадратична похибка прогнозу представлена у таблиці

Таблиця 3.5

	Середньоквадратична похибка прогнозу споживання:		
	Електроенергії, кВт год	Природного газу, м ³	Вугілля, т
XGBoost	5877,799	08,621	1,280
Лінійна Регресія	7084,142	12,164	1,963

Отже, модель екстремального градієнтного бустинку дозволяє побудувати БР з більшою точністю прогнозу для споживання кожного типу енергоносія.

3.4 Аналіз ефективності впроваджених заходів з енергозбереження

В період з лютого по березень на підприємстві були впроваджені заходи з енергозбереження, представлені в таблиці. В сумі з допомогою даних заходів було заплановано скоротити споживання електроенергії на

4,5%, природного газу на 5%, вугілля на 7,6% в наступному місяці. Спробуємо оцінити, чи виконується цільове використання енергетичних ресурсів після впроваджених заходів з енергозбереження протягом квітня 2018 року.

Таблиця 3.6

Захід	Короткий опис	Очікуваний ефект
Когенераційна установка	Установка когенераційної установки потужністю 500 кВт	Генерація власної електроенергії, заощадження газу
Модернізація схеми завантаження сировини	Будівництво резервуара для "рідкого" завантаження сировини. Зменшення к-ті одиниць насосного парку	Заощадження витрат вугілля та газу
Модернізація системи освітлення	Заміна галогенних ламп та ламп розжарювання на діодні	Заощадження витрат електроенергії

Побудуємо таблицю кумулятивних сум різниці планового споживання енерговикористання згідно БР та фактичного споживання в заданий період. Також порівняємо БР, побудовану моделю лінійної регресії та моделю XGBoost. Результати занесені до таблиці. Різниця між фактичними та запланованими значеннями розраховується як:

$$\Delta y_i = y_i - \tilde{y}_i, \quad (3.16)$$

де y – фактичне значення залежної змінної;

\tilde{y} - очікуване значення БР;

Значення кумулятивної суми розраховується за формулою:

$$\Delta y_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k \Delta y_i = \Delta y_{\Sigma k-1} + \Delta y_k, \quad (3.17)$$

де $\Delta y_{\Sigma k}$ сумарне відхилення фактичного значення від прогнозованих, отримані протягом k періодів контролю;

Для того, щоб кількісно оцінити чи виконується запланований рівень енергоефективності після впроваджених заходів з

енергоефективності, розрахуємо значення очікуваного споживання енергії з врахуванням запланованого зниження, тобто з формули():

$$\Delta W_i^{target} = \Delta W_i \cdot (1 - k) = (W_i - \tilde{W}_i) \cdot (1 - k), \quad (3.17)$$

де k – відсоток очікуваного зниження споживання

Тобто для кожного енергоносія можна визначити очікуване споживання з врахуванням запланованого зниження:

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{електроенергії}}^{target} &= \Delta W_i \cdot (1 - 0,045) \\ \Delta W_{\text{газу}}^{target} &= \Delta W_i \cdot (1 - 0,05) \\ \Delta W_{\text{вугілля}}^{target} &= \Delta W_i \cdot (1 - 0,076), \end{aligned} \quad (3.18)$$

3.4.1 Контроль енергоефективності з БР розрахованим методом лінійної регресії

Розрахуємо зміну ефективності споживання електричної енергії внаслідок впровадження заходів з енергозбереження. Для цього побудуємо графік кумулятивних сум різниць фактичного споживання електричної енергії та цільового, розрахованого методом лінійної регресії. Результати розрахунку представлені в таблиці 3.7 та на рисунку 3.10

Таблиця 3.7

	Фактичне споживання електроенергії, кВт год	Очікуване споживання електроенергії, кВт год	Заощадження, кВт год	Кумулятивна сума заощадження, кВт год	Цільове споживання (- 4,5 %), кВт год	Цільові заощадження, кВт год	Кумулятивна сума цільових заощаджень, кВт год
01.04.18	185717,2	188962,3	-3245,05	-3245,05	180459	5258,249	5258,249
02.04.18	185015,2	187099,4	-2084,23	-5329,29	178680	6335,242	11593,49
03.04.18	186836,6	189888,7	-3052,12	-8381,4	181343,7	5492,874	17086,37
04.04.18	185489,5	190555,6	-5066,04	-13447,4	181980,6	3508,961	20595,33
05.04.18	186827,1	191268,5	-4441,32	-17888,8	182661,4	4165,756	24761,08
06.04.18	186352,8	188376,1	-2023,27	-19912	179899,2	6453,65	31214,73
07.04.18	186068,2	186528,6	-460,394	-20372,4	178134,8	7933,394	39148,13
08.04.18	185024,7	178797,5	6227,196	-14145,2	170751,6	14273,08	53421,21
09.04.18	178479	175909,9	2569,079	-11576,2	167994	10485,03	63906,24
10.04.18	182083,9	183981,1	-1897,24	-13473,4	175702	6381,914	70288,15

Продовження таблиці 3.7

11.04.18	183601,7	188099,6	-4497,88	-17971,3	179635,1	3966,604	74254,75
12.04.18	184360,6	189656,4	-5295,77	-23267	181121,9	3238,772	77493,52
13.04.18	182368,5	188431,6	-6063,08	-29330,1	179952,1	2416,339	79909,86
14.04.18	179522,5	188096,4	-8573,89	-37904	179632,1	-109,553	79800,31
15.04.18	179048,2	189016,7	-9968,5	-47872,5	180511	-1462,75	78337,56
16.04.18	177815	190224	-12409	-60281,6	181663,9	-3848,96	74488,6
17.04.18	176297,1	187592,1	-11295	-71576,6	179150,5	-2853,38	71635,21
18.04.18	176392	187007,2	-10615,3	-82191,9	178591,9	-2199,94	69435,27
19.04.18	176866,3	190642,8	-13776,5	-95968,3	182063,8	-5197,54	64237,73
20.04.18	175917,7	188476,9	-12559,3	-108528	179995,5	-4077,81	60159,92
21.04.18	175917,7	185585,9	-9668,22	-118196	177234,5	-1316,85	58843,06
22.04.18	177435,5	187181,2	-9745,75	-127942	178758,1	-1322,59	57520,47
23.04.18	176676,6	188466,1	-11789,5	-139731	179985,1	-3308,53	54211,94
24.04.18	178573,9	188589,9	-10016	-149747	180103,4	-1529,48	52682,46
25.04.18	179617,4	188323	-8705,61	-158453	179848,5	-231,073	52451,39
26.04.18	178384,1	172310,5	6073,618	-152379	164556,6	13827,59	66278,98
27.04.18	177056	169118,1	7937,935	-144441	161507,8	15548,25	81827,23
28.04.18	174399,8	165836,5	8563,334	-135878	158373,8	16025,98	97853,2
29.04.18	179332,8	170241,3	9091,477	-126786	162580,5	16752,34	114605,5
30.04.18	111409,5	141282,5	-29873	-156659	134924,8	-23515,3	91090,23

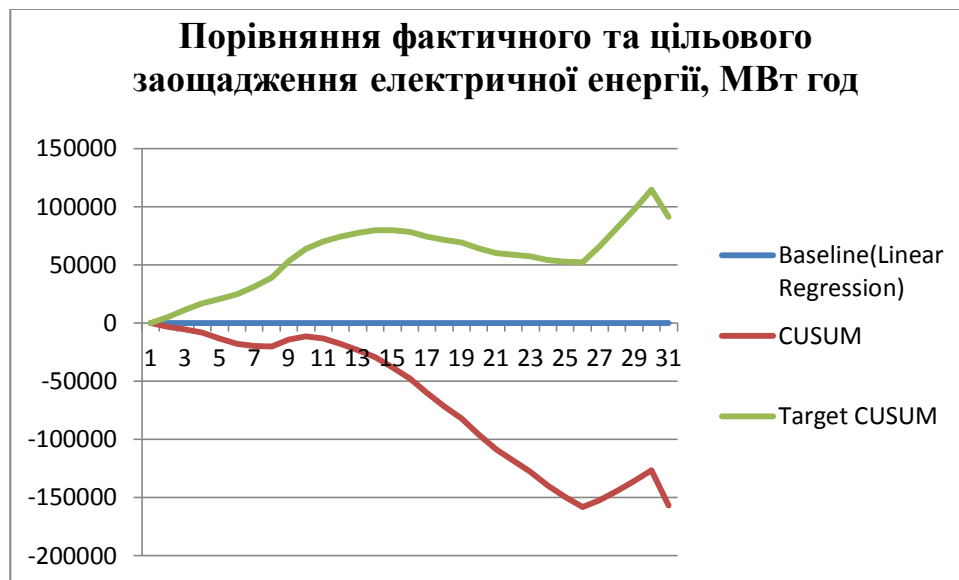


Рисунок 3.10

Як можна побачити з рисунку та таблиці, підприємство зменшило споживання електричної енергії внаслідок впроваджених заходів з енергозбереження. Різниця між очікуваним споживанням та фактичним становить 157 МВт год. Не зважаючи на це, підприємство не досягло цільового рівня енергетичної ефективності. Різниця між запланованою економією та фактичною становить 91 МВт год.

3.4.1 Контроль енергоефективності з БР побудованим на основі XGBoost

Побудуємо графік кумулятивних сум різниць фактичного споживання електричної енергії та цільового, розрахованого методом XGBoost. Результати розрахунку представлені в таблиці.

Таблиця 3.8

	Фактичне споживання електроенергії, кВт год	Очікуване споживання електроенергії, кВт год	Заощадження ,кВт год	Кумулятивна сума заощаджена, кВт год	Цільове споживання(- 4,5 %), кВт год	Цільові заощадження, кВт год
01.04.18	193173	-7455,74	-7455,74	184480,2	1237,04	1237,04
02.04.18	189120,8	-4105,57	-11561,3	180610,3	4404,863	5641,904
03.04.18	191093,3	-4256,65	-15818	182494,1	4342,549	9984,452
04.04.18	189663	-4173,51	-19991,5	181128,2	4361,325	14345,78
05.04.18	189791,7	-2964,54	-22956	181251	5576,084	19921,86
06.04.18	190280	-3927,19	-26883,2	181717,4	4635,406	24557,27
07.04.18	189088,5	-3020,27	-29903,5	180579,5	5488,708	30045,98
08.04.18	186333,7	-1308,98	-31212,5	177948,7	7076,039	37122,02
09.04.18	186451,3	-7972,33	-39184,8	178061	417,9777	37539,99
10.04.18	189705,8	-7621,87	-46806,7	181169	914,8898	38454,88
11.04.18	188974	-5372,23	-52178,9	180470,1	3131,596	41586,48
12.04.18	187220,6	-2859,95	-55038,8	178795,7	5564,974	47151,45
13.04.18	192710,2	-10341,7	-65380,5	184038,2	-1669,74	45481,71
14.04.18	189930	-10407,5	-75788	181383,2	-1860,64	43621,08
15.04.18	189930	-10881,8	-86669,8	181383,2	-2334,96	41286,11
16.04.18	187865,7	-10050,7	-96720,5	179411,7	-1596,75	39689,37
17.04.18	190255,2	-13958,1	-110679	181693,7	-5396,63	34292,73
18.04.18	189948,3	-13556,3	-124235	181400,7	-5008,67	29284,06
19.04.18	189357	-12490,7	-136726	180835,9	-3969,61	25314,45
20.04.18	189640,6	-13723	-150449	181106,8	-5189,13	20125,32
21.04.18	189399,1	-13481,4	-163930	180876,1	-4958,48	15166,84
22.04.18	189195,4	-11759,9	-175690	180681,6	-3246,15	11920,7
23.04.18	187771,8	-11095,3	-186785	179322,1	-2645,52	9275,175
24.04.18	189640,6	-11066,7	-197852	181106,8	-2532,91	6742,27
25.04.18	189640,6	-10023,2	-207875	181106,8	-1489,39	5252,879
26.04.18	167947,5	10436,68	-197439	160389,8	17994,31	23247,19
27.04.18	179673,3	-2617,23	-200056	171588	5468,067	28715,26
28.04.18	174594,3	-194,465	-200250	166737,5	7662,277	36377,54
29.04.18	179673,3	-340,47	-200591	171588	7744,827	44122,36
30.04.18	155532,8	-44123,4	-244714	148533,9	-37124,4	6997,954

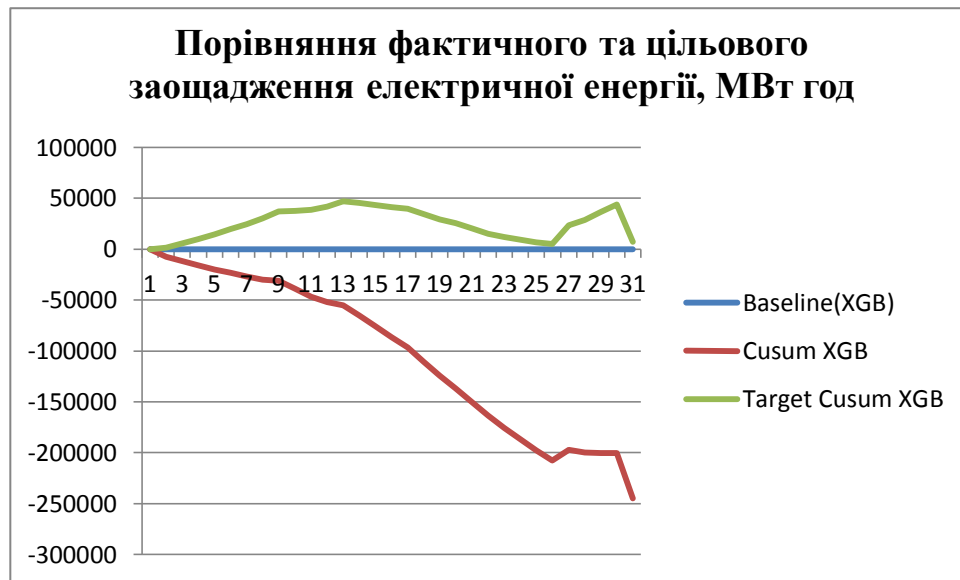


Рисунок 3.11

Як можна побачити з рисунку та таблиці, використання в якості БР XGBoost модель певним чином змінює результат контролю ефективності енерговикористання. В даному випадку підприємство зменшило споживання електричної енергії відносно ПЕЕ на 245 МВт год. Підприємство не досягло запланованого рівня енергоефективності. Різниця між запланованою економією та фактичною становить 7 МВт год.

Отже, при використанні в якості БР моделі лінійної регресії та моделі XGBoost були отримані однакові якісні, але різні кількісні результати. Як ми переконались у п.3.3 даного розділу модель XGBoost отримала на 17% меншу похибку прогнозу для цукрового підприємства ніж модель лінійної регресії. Спробуємо оцінити похибку порівняння двох моделей в грошовому еквіваленті.

Для даного підприємства тариф на споживання електроенергії в квітні 2018 року складав 201,4 коп/кВт год. З використання в якості БР моделі лінійної регресії ми переконались, що підприємство мало економію електричної енергії 157 МВт год. Так як запланована економія мала скласти 248 МВт год, зайва витрата енергії склала 91 МВт год. Вартість спожитою енергії будемо розраховувати за формулою:

$$\sum C_i = \sum W_i \cdot c, \quad (3.19)$$

де c – тариф, грн./кВт год

З формули (3.19) сума зайвих витрат по відношенню до цільової економії склала:

$$\sum C_i = 91 \cdot 10^3 \cdot 2,014 = 182 \text{ тис. грн.},$$

Сума зайвих витрат по відношенню до цільової економії при використанні XGBoost склала:

$$\sum C_i = 7 \cdot 10^3 \cdot 2,014 = 14 \text{ тис. грн.},$$

Тобто похибка використання різних моделей прогнозування склала 168 тис. грн.

Так як XGBoost при правильному використанні дає меншу похибку прогнозу, даний метод доцільніше використовувати при аналізі ефективності впровадження високовартісних заходів з енергозбереження.

3.5 Визначення можливостей заощадження при аналізі базового рівня енергоспоживання з допомогою дерев XGBoost

Математична модель бустингових дерев дозволяє визначити скільки разів при проведенні певної кількості контролів зміна певного чинника впливала на зміну споживання певного типу енергоресурсу[27]. З допомогою функції «get_importance» середовища XGBoost та бібліотеки rpyplot можна визначити та візуалізувати ступінь важливості кожного чинника на залежну змінну. На рисунку зображено розподіл ступеню важливості для чинників, що впливали на процес споживання електричної енергії за період встановлення БР.

Як ми бачимо з рисунку зміна обсягу використаних буряків зумовлює майже 28% зміни споживання електричної енергії. Це пов'язано з тим, що найбільш суттєві споживачі електричної енергії встановлені в цеху завантаження сировини.

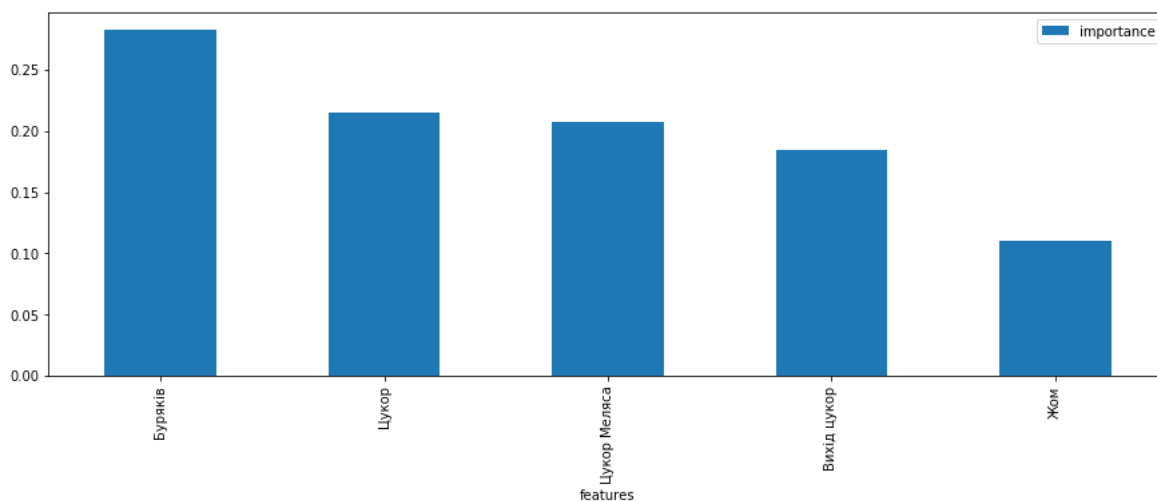


Рисунок 3.12 Відсоток впливу кожного чинника на процес споживання електричної енергії

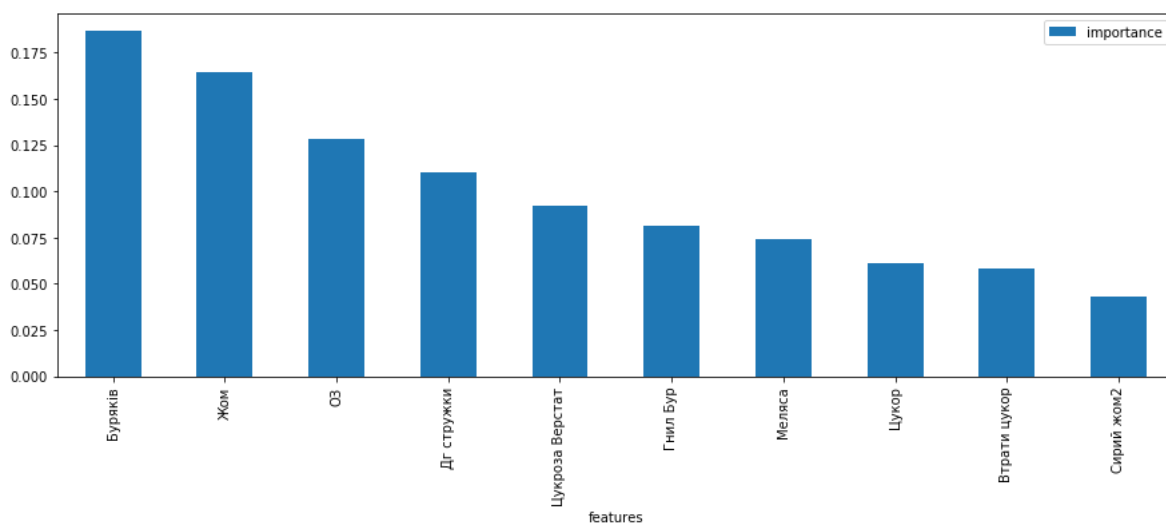


Рисунок 3.13 Відсоток впливу кожного чинника на процес споживання природного газу

З рисунку можна побачити, що близько 22 % зміни процесу споживання вугілля викликане впливом вологості спожитої сировини. Це свідчить про те, що процес термічної обробки маси буряків в цеху метаноферментації безумовно характеризується даним чинником. Споживання вугілля в даному випадку безумовно залежить від стану, в якому знаходиться сировина.

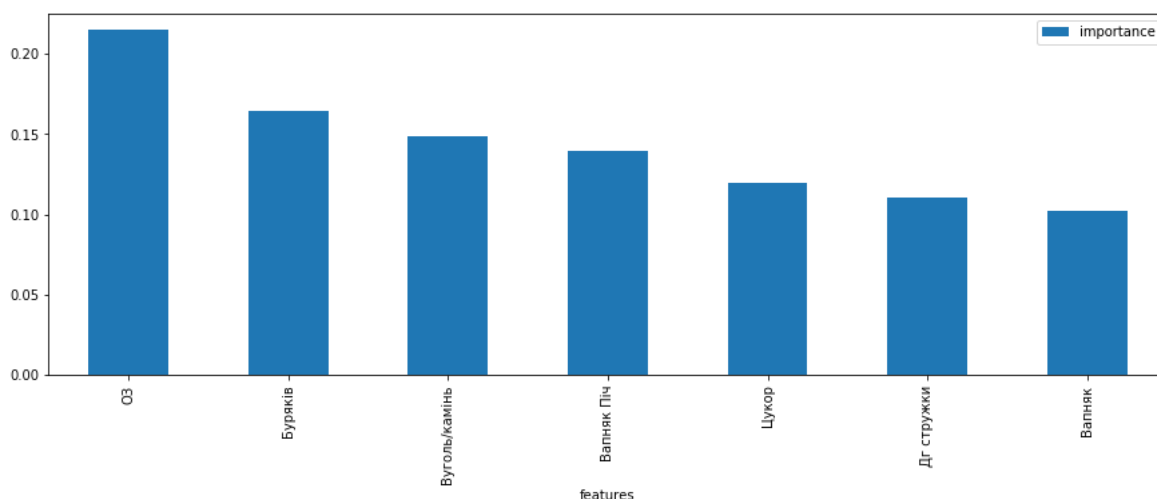


Рисунок 3.14 Відсоток впливу кожного чинника на процес споживання вугілля

Важливою особливістю використання даного методу є аналіз чинників, які не мають суттєвого впливу на процес споживання певного енергоресурсу. Якщо певний чинник є статистично незалежним від інших і має потенційний вплив на процес енергоспоживання, але цього не відбувається, це може свідчити про потенційні втрати енергії в секторі, яких характеризує даний чинник

Висновки

1. Встановлення БР енергоспоживання дозволяє проводити моніторинг ефективності заходів з енергозбереження, а також визначати моменти суттєвої зміни енергоефективності. Використання графіку кумулятивних сумм також дозволяє визначити тенденцію зміни енергетичної ефективності;

2. Метод лінійної регресії дозволяє побудувати БР енергоспоживання та визначити ПЕЕ, які мають статистично значущий вплив на БР. Для побудови достовірної моделі лінійної регресії необхідно перевіряти чинники на мультиколінеаність, щоб уникнути взаємозалежності змінних, які повинні бути незалежними. Недоліком використання моделей лінійної регресії є ігнорування чинників, які мають залежність нелінійного характеру з цільовою функцією;

3. Використання моделі XGBoost дозволяє визначити «важливість» кожного чинника на процес енерговикористання. Внаслідок чого можна розподілити технологічні процеси, що виражені через встановлені коефіцієнти, на більше, або менше впливові на процес енерговикористання. Дана функція дозволяє покращити процес контролю ефективності енерговикористання завдяки покращенню розуміння залежності процесу енерговикористання від певного технологічного процесу;

4. Модель градієнтного екстремального підсилення показує більшу точність прогнозування, але потребує певного розуміння концепцій градієнтного бустингу та регуляризації моделей машинного навчання. Перевагою моделі лінійної регресії по відношенню до XGBoost є відсутність технологічних вимог та простота в експлуатації і інтерпретації. Складні моделі машинного навчання доцільно використовувати в тих випадках, коли точність моделі прогнозування є першорядною вимогою, наприклад, коли плануються високобюджетні заходи з енергозбереження.

4 СТАРТАП ПРОЕКТ «Впровадження системи енергетичного менеджменту на промислових підприємствах»

В даному розділі проведено аналіз принципової можливості ринкового впровадження та можливих напрямків реалізації стартап проекту.

4.1 Опис ідеї проекту

В таблиці 4.1 представлено основний опис проекту, зміст, можливості, можливі базові ринки та особливості потенційного пошуку клієнтів. Також визначено напрямки застосування та потенційний опис послуг, що будуть виконуватись керівниками проекту.

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення консалтингового агентства по впровадженню системи енергетичного менеджменту у відповідності з вимогами Стандарту ISO 50001. Напрямок діяльності – встановлення БР на підприємства та фінансовий аналіз ефективності впроваджених заходів з енергозбереження	1. Комерційний – надання послуг промисловим підприємствам	1. Підвищення рівня енергетичної ефективності 2. Збільшення конкурентоспроможності на ринку
	2. Навчальний – лекції та семінари для студентів та працівників енергетичної сфери діяльності	1. Набуття потенційних партнерів та клієнтів 2. Підвищення кваліфікації представників енергетичної діяльності
	3. Співтоваристський – допомога підприємствам що надають енергетичні послуги в якості співпраці	1. Підвищення кваліфікації представників енергетичної галузі 2. Вигідні економічні заручення між підприємствами

В таблиці 4.2 проведений аналіз переваг та недоліків впровадження даного проекту на ринок. Також визначені особливості проекти при

порівнянні з потенційними конкурентами. Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей послуг, що будуть поставлятися проектом є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Таблиця 4.2 Сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проєкт	Системи цільового моніторингу	Системи питомих норм енергоспоживання	Автоматизовані системи прогнозування цільових функцій			
Надійність системи	1	2	3	4		1,2,4	3
Глобальність	1	2	3	4	3	2,4	1
Комплексність	1	2	3	4	2,3	4	1
Оперативність	1	2	3	4	3	1,2	4
Достовірність	1	2	3	4	3	1,2	4

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного етапу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Результат аналізу технологічної здійсненності проекту представлено у таблиці 4.3.

З технологічної точки зору проєкт має необхідні можливості до реалізації. Третій розділ магістерської дисертації може бути використаний в якості методологічної основи. Перелік технологічних засобів для забезпечення встановлених послуг є в спільному доступі. Основні показники технологічної здійсненності проекту представлені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
База для потенційних даних	MS “Excel”	Наявні	Доступні
Математична складова	Python, Pandas, Sk-Learn	Наявні	Доступні
Графічна складова	Python, Seaborn, Matplotlib	Наявні	Доступні

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному розділі визначено основні ринкові можливості впровадження проекту, та ринкових загроз, що можуть перешкодити реалізації проекту. Також сплановані етапи реалізації проекту з врахуванням стану ринкового середовища, пропозицій конкурентного середовища та потреб потенційних клієнтів.

Таблиця 4.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
1. Кількість головних гравців, од	150
2. Загальний обсяг продаж, грн./ум. од	1500
3. Динаміка ринку	стагнує
4. Наявність обмежень для входу	Обмежений. Дана система ще не використовується в Україні на необхідному рівні
5. Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Стандарт ISO - 50001
6. Середня норма рентабельності в галузі, %	10

Аналіз динаміки розвитку попиту на проект представлено у таблиці 4.4. Ринок має середній ступінь привабливості для входження. Сильний рівень конкуренції робить проект ризиковим з точки Середня норма рентабельності досить велика, а відсутність подібних систем робить проект досить ризикованим з точки зору впровадження на ринок. У таблиці 4.5 визначені основні групи потенційних клієнтів стартапу та їх властивості.

Аналіз ринкового середовища з точки зору загроз та можливостей представлено у таблицях 4.6 – 4.7. З огляду на конкурентну ситуацію проект може існувати на енергетичних послуг за умови надійності поставлених послуг та регулярного бенчмаркитного аудито на послуги конкурентних підприємств.

Таблиця 4.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Підвищення енергетичної ефективності	Будь яка група споживачів	Не передбачено	Надійність, ефективність, доступність

Загальний опис конкурентного середовища на ринку представлені у таблиці 4.8. Більш детальний аналіз умов конкуренції представлений у таблиці 4.9. В таблиці 4.11 представлений порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Впровадження систем енергетичного менеджменту на промислових підприємствах. Проведення контролю ефективності впроваджених заходів з енергозбереження»

Таблиця 4.6 Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Ціна на послуги	Оцінка вартості послуг прямо пропорційно залежить від можливостей скорочення споживання	Бенчмаркінг. Розрахунок вартості послуг в залежності від вартості послуг у конкурентів.
Підвищення кваліфікації	Для того, щоб проект функціонував, необхідно постійно проводити кваліфікаційні тренінги для персоналу	Створити відповідального за кваліфікаційний розвиток
Недостатня мотивація споживача	Системи оперативного контролю на українському ринку є інновацією і для клієнта досить ризиково використовувати дану послугу	Реклама, комунікативні методи зв'язку з потенційними клієнтами

Таблиця 4.7 Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Новизна	Досить свіжий погляд у сфері енергоринку України	Рекламувати продукт як інноваційний
Комплексність	Розрахунок ведеться аргументований та різносторонній. Інші подібні системи не мають на стільки комплексної системи висновків та пропозицій	Постійний контроль за справністю математичної складової послуг
Простота експлуатації	Автоматизоване середовище дозволить кожному члену організації проводити розрахунки	Удосконалення даної складової

Таблиця 4.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства(можливі дії компанії, щоб бути конкурентноспроможною
1. Тип конкуренції - чиста	На сайті Держенергоефективності представлений перелік підприємств, що займаються конкурентною діяльністю	Маркетинговий відділ сприятиме рекламним діям для представлення інноваційності та особливості представленої послуги
2. Локальний рівень конкурентної боротьби	За межами України вже існують «Методи аналізу енергоефективності на основі різних регресійних моделей»	Розвиватись та шукати шляхи вирішення даної проблеми
3. Потенційно міжгалузева	Дана ситсема може використовуватись і для контролю якості продукції	На певному етапі підприємство буде намагатись вийти за межі власної галузі
4. Нецінова конкуренція	Послуга не матиме фіксованої ціни	На ціну впливатимуть безліч факторів
5. Марочна	На певних енергетичних підприємствах уже працюють певні системи контролю енергоефективності	Представлення матеріалів на конференціях та проведення семінарів дозволить прорекламувати унікальність послуг компанії

Таблиця 4.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Інші підприємства, що займаються консалтингом та постачання послуг з підвищення енергетичної ефективності	Інші аудиторні підприємстві з можливостями аналітики	Кількісна оцінка ефективності впровадження продукції	Відгук и, Рецензії	Кращі системи контролю якості продукції

Продовження таблиці 4.9

Висновки	Через специфіку організації ринку даного товару/послуги конкурентна боротьба має специфічний характер і не може бути класифікована	Є можливості входу на ринок. Потенційні конкуренти – інші аналітичні та аудиторські підприємства	Постачальники створюють умови, але в певній мірі	Клієнти створюють умови, але в певній мірі	Обмеженнями для роботи на ринку – відсутність кваліфікації у потенційних конкурентів
----------	--	--	--	--	--

Таблиця 4.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
Новизна	Конкурентне середовище не має аналогічних послуг
Аргументованість результатів	Інноваційність та кількісна оцінка результатів впровадження послуги
Простота використання	Кожний клієнт має можливість використання послуги без використання спеціальних додаткових ресурсів

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
		-3	-2	-1	0	1	2	
Гнучкість використання	5						V	
Термін підготовки	3		V					
Оновлення	4			V				
Корисність на ринку	6					V		
Експлуатація	5		V					
Ціна	3			V				
Новизна	3						V	

На основі аналізу таблиць 4.6 та 4.7 визначено перелік ринкових загроз та можливостей впровадження стартап проекту в маркетингове

середовище. Відповідні ринкові загрози та можливості є результатом впливу чинників маркетингово середовища і мають можливості до здійснення. Наприклад, впровадження неефективних заходів з енергозбереження на підприємствах – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового чинника при виборі послуги. Результат проведення SWOT аналізу представлено у таблиці 4.12

Таблиця 4.12 SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
Високий попит на підвищення енергоефективності Новизна проекту – відсутність аналогів Простота використання проекту Підтримання сучасній Європейських «трендів»	Необхідність великої бази даних, що значно зменшую потенційну надійність програмного продукту Новизна проекту – багато ризиків Висока вартість послуг представників галузі інформаційних технологій Низький рівень кваліфікованих фахівців в даній сфері господарства
Можливості	Загрози
Позитивна тенденція росту популярності концепції контролю та планування в Україні та Європі Розвиток законодавчого регулювання проблеми енергоефективності в країні	Зростання конкуренції Політична ситуація в країні Висока вартість регулярного забезпечення та оновлення продукту

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту на ринок та можливий час їх ринкової реалізації з огляду на конкурентне середовище (див. таблицю 4.9, аналіз потенційних конкурентів). Проведено SWOT-аналіз часу та можливостей отримання корисного економічного ефекту від впровадження проекту. Результат представлено у таблиці 4.12.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Опис цільових груп споживачів представлено у таблиці 4.14.

Таблиця 4.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Використання соц. мереж	Вище середнього. Повністю залежить від якості рекламних постів	1 роки
Конференції, Форуми та інші спільнотські зустрічі	Середня. Залежить від матеріалу, що буде представлено на таких зустрічах	2 роки
Спільна робота з іншими підприємствами	Середня. Залежить частково від якості послуг, частково від співробітництва з іншими підприємствами	2 роки

Таблиця 4.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Промислові підприємства	Залежить від рекламних заходів	Залежить від поведінки компанії	Середня	Низька
Підприємства енергетичної сфери	Помірна	Високий	Висока	Середня

Продовження таблиці 4.14

Вищі навчальні заклади	Помірна	Середній	Низька	Середня
------------------------	---------	----------	--------	---------

Базова стратегія розвитку стартап-проєкту визначена та представлена у таблиці 4.15

Таблиця 4.15 Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Конференції, Форуми та інші спільнотські зустрічі	Концентрація основних зусиль не на продажу товару, а на захопленні визнання «продукту»	Інформаційні, комунікаційні система, взаємодія з підприємствами, які належать до енергетичної галузі	Концентрований маркетинг

На основі обраної базової стратегії розвитку проводиться вибір стратегії конкурентної поведінки проєкту. Результати представлені у таблиці 4.16.

Таблиця 4.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і як?	Стратегія конкурентної поведінки
Проект є першопрохідцем на ринку	Компанія буде шукати нових споживачів	Не буде, так як продукція компанії поки що не має аналогів	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної

базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розроблена стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект. Результати представлені у таблиці 4.17

Таблиця 4.17 Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту
Надійність товару Виправдовування очікувань Швидке реагування на реакцію цільової аудиторії	Збір відгуків про товар. Покращення та реклама товару до моменту рентабельності	Унікальність – як стратегії розвитку, так і самого продукту.	Інтелектуальний Простий Ефективний Майбутнє Покращення

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Визначення ключових потенційних переваг проекту представлено у таблиці 4.18

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Висока плата за електроенергію	Постійний моніторинг рівня енергоефективності	Допомога в прийнятті рішень
Низька ступінь керування попитом на електроспоживання	Дозволяє виявити, які фактори найбільше впливають на електроспоживання	Управління електроспоживанням

Трирівнева маркетингова модель потенційного товару представлена у таблиці 4.19

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів. Результати даного заходу представлено у таблиці 4.20

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1.Товар за задумом	Надання консалтингових послуг з виявлення прихованих можливостей економії на енергоресурсах, допомога у створенні базових рівнів енерговикористання
2.Товар реальному виконанні у	Властивості/характеристики
	1. Великий простір для сукупності клієнтів
	2. Ринкові умови привабливі для користаваннями послугами компанії
	3.Велика база даних клієнтів
	Якість: нормативи проведення статистичних розрахунків, відгуки
Товар із підкріпленням	Пакування – офіційний сайт компанії, соцмережі
	Марка: X-EnergySystems + Впровадження системи енергетичного менеджменту на підприємства, контроль ефективності впроваджених заходів з енергозбереження
	Основні вихідні величини: Консультаційні послуги та укладення договорів

В таблиці 4.21 представлений аналіз визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів. Результат сформульовано у таблиці 4.22.

Таблиця 20. Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на послугу
Відсоток від результатів економічної діяльності	Відсоток від результатів економічної діяльності	Залежить від обраного підприємства	Нижня межа - 15000 грн.

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Клієнт залишає заявку на офіційному сайті, або виходить на компанію через контриб'юторів	Продавати послуги, рекламувати	Дво-трьорівневий	Залучена

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціювання	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Недовіра до продавця, потреба в перевірці.	Інтернет, новини	Контроль, планування, наявність результатів	Кількісна оцінка ефективності, точність впровадження послуги	Контроль ефективності енерговикористання – підвищення конкурентоспроможності

Таблиця 4.23

	Об'єкт	Мета	Термін	Можливість	Кількість	Суб'єкти ринку
Ідея	Консалтингова експертна компанія по впровадженню системи енергетичного менеджменту згідно вимог ISO 50001 на підприємстві, аналіз ефективності впроваджених ЗЕЗ	Контроль та планування енерговикористання, підвищення попиту на продукцію.	Сертифікація – 1 рік, місяці реклама та зустрічі з партнерами, укладання угод, всього 1,5-2 роки	Встановлення БРЕ на основі найновіших математичних моделей, виявлення можливостей енергозбереження. Більш детальна інформація описана в п.3	Об'єм продажу буде залежати цілком від попиту та реклами, тому перший терміном від до 1 року буде випробувальним.	Товар орієнтовано на начальників, або енергоменеджерів виробничих підприємств та інших фізичних осіб, зацікавлених у підвищенні енергоефективності виробничого підприємства
Ціна	Від 15000 грн і вище в залежності від можливостей енергозаощадження	Ціна буде залежати від багатьох умов, особливо від умов використання послуг компанії	Ціна буде актуальна до тих пір доки не з'явиться компанія з дешевшими послугами-аналогами	З часом ціна буде коливатись залежно від можливостей компанії та.	Ціна буде встановлюватись в залежності від можливостей економії внаслідок послуг.	Ціна також буде залежати від групи покупців. Посередники та покупці, які зможуть запропонувати інший вид вигоди можуть мати певну знижку

Продовження таблиці 4.23

Місце продажу	Офіційний сайт, посередники	Такі канали розповсюдження вибрані як найомтимальніші для подібних систем.	Покупці будуть обирати канал збуту після того, як послуга отримає довіру	Канали розповсюдження будуть працювати лише після проведення рекламних заходів та створення офіційного сайту, проведення ліцензування послуги.	Кошти будуть витрачатись на сертифікацію, підвищення кваліфікації та покращення технологічної бази	Покупці зможуть отримати послугу через офіційний сайт, або через офіційних представників
Реклама	Соціальні мережі. Партнерські програми. SEO оптимізація офіційного сайту.	Інформаційні системи найкращий спосіб створити рекламну компанію	1,5 -2 роки - підготовка, 3 роки – срок життя проекту	Реклама через партнерські програми та використання пошукових систем	Рекламні заходи близько 30-40 % від капітальних затрат	Статті та анонси, розповсюджені на енергетичних форумах та журналах

Висновки

1. Проведений маркетинговий аналіз стартап проекту «Впровадження систем енергетичного менеджменту на промислові підприємства» дозволяє визначити принципові можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації його впровадження. Був проведений технологічний аудит ідеї проекту, аналіз ринкових можливостей, розроблена ринкова стратегія та ринкова (маркетингова) програма впровадження стартап-проекту на новий ринок електричної енергії.

2. Даний проект має можливість бути комерціалізованим з певними наявними особливостями(сертифікація послуг, партнерські угоди). Попит на проект наявний, динаміка ринку помірна, середній рівень рентабельності функціонування проекту на ринку у порівнянні з іншими проектами.

3. Є значні перспективи впровадження на ринок. В Україні існуюча система контролю і планування ефективності використання енергоресурсів має суттєві недоліки, які можуть бути вирішені для певних підприємств з допомогою послуг компанії. Бар'єром входження може бути недовіра споживача та низький початковий капітал. Стан конкуренції – помірний, конкурентоспроможність проєкту досить висока, особливо на перших етапах

4. Альтернативним варіантом впровадження можна вважати партнерські угоди з підприємствами, які можуть надати рекламні послуги, або використання партнерських програм. Подібні заходи зменшать рівень сукупного доходу на перших етапах, але дозволять збільшити попит на послуги проєкту.

5. Подальша імплементація проекту доцільна тільки якщо будуть виконуватись заплановані умови використання проекту, так як даний проект має занадто слабку систему захисту від раптових ризиків. Короткий маркетинговий план проекту представлений у таблиці 4.23

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз систем контролю ефективності енерговикористання в Україні. BRE – математична модель, що дозволяє оцінити рівень енергетичної ефективності на підприємстві. В умовах закону «Про ринок електричної енергії» встановлення якісних BRE, як і впровадження СЕМ на підприємствах суттєво підвищує конкурентоспроможність підприємств.

2. Проведено енергетичний аналіз підприємства цукрової промисловості. Визначено основні суттєві споживачі електричної енергії. Проведено аналіз різних структурних підрозділів підприємства з точки зору енергоспоживання та систем енергопостачання. Визначено кількісні параметри, що мають потенційний вплив на процес споживання енергії на підприємстві.

3. Проведено кореляційно-регресійний аналіз чинників, що мають потенційний вплив на процес споживання кожного типу енергоносія. Побудовано BRE на основі лінійної регресії та екстремального градієнтного підсилення. Проведено аналіз ефективності впроваджених заходів з енергозбереження на цукровому підприємстві при встановлених BRE. Модель XGBoost дає меншу похибку прогнозу, тому дозволяє проводити більш точний прогноз, проте потребує глибшого математичного розуміння та кращої технологічної бази, ніж модель лінійної регресії. Бустові дерева дозволяють визначити кількісно важливість кожного обраного чинника на процес енерговикористання

4. Проведений маркетинговий аналіз стартап проекту «Впровадження систем енергетичного менеджменту на технологічних підприємствах» задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації його впровадження. Був проведений технологічний аудит ідеї проекту, аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту, розроблена ринкова

стратегія впровадження проекту та ринкова (маркетингова) програма проекту.

5. В результаті дослідження отримані графіки ефективності впроваджених заходів з енергозбереження при умові різних підходів до модулювання БР. Вихідними даними є результати енергетичного дослідження підприємства, перелік облікових потенційних чинників для побудови БР енергоспоживання, споживання електричної енергії, природного газу та вугілля підприємством за 2017-2018 рік, методичні вказівки, перелік завдять від наукового керівника. В розрахунках використовуються методи кореляційно-регресійного аналізу, математичного моделювання ансамблів бустингових дерев, графіки кумулятивних сум, графіки точкових залежностей та перевірки нормальності розподілу. Для розв'язку поставлених задач використані такі технології:

- MS Excel. Використовується для візуалізації результатів розрахунків та модулювання графіків, також для звітування та зберігання звітних табличних даних;
- Python v3.6.1 – об'єктно-орієнтована мова програмування. Використовується як основа для математичних та логічних розрахунків;
- Jupyter Notebook. Середовище, що використовується для зберігання модулів та програм, написаних на мові Python.
- Бібліотека Pandas. Використовується для побудови та опрацювання двовимірних масивів даних, що індексуються одночасно по рядкам та стовпчикам.
- Бібліотеки SciPy та NumPy. Використовується для математичних операцій з матрицями, розрахунку ітерацій методів лінійного програмування. SciPy.optimize.minimize використовується для мінімізації цільової функції.

- Бібліотека Sk-Learn. Використовується для будування моделей машинного навчання. В данному розділі використовується для побудови лінійної регресії та бустингових дерев
- Середовище XGBoost. Використовується в вирішенні проблем класифікації та регресії
- Бібліотека Matplotlib та Pyplot. Використовується для проміжної візуалізації даних при аналізі етапів розрахунку.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Приступа М.М. Енергозбереження в Україні: правові аспекти і практична реалізація [Текст] / М.М. Приступа, М.В. Бохонко. – Рівне: видавець О.Зень, 2011. – 56 с.
2. Ковалко М.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України [Текст] / М.П.Ковалко, С.П. Денисюк. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.
3. Праховник А.В.Энергетический менеджмент [Текст] / А.В. Праховник, А.И. Соловей В.В.Прокопенко. – К.: Киевская нотная фабрика, 2001. – 472 с.
4. Гофман И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий [Текст] / И.В. Гофман - М.:Энергия, 1966. – 310 с.
5. Находов В.Ф. Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів [Текст] / В. Ф. Находов, О. В. Бориченко, К.К. Кочетова // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро: інформ. зб. – 2007. - №2. – С. 42-48.
6. Jones Phil. Getting started with Monitoring & Targeting (M&T) // Fundamental Series. – 2004. – №7. – P. 29-32.
7. Находов В.Ф. Контроль та аналіз виконання встановлених «стандартів» в системах статистичного контролю ефективності використання електричної енергії [Текст] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Промислова електроенергетика та електротехніка. Промелектро: інформ. зб. – 2011. - №2. – С. 16-23.
8. Находов В.Ф. Энергосбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования [Текст] / В.Ф. Находов // Промислова електроенергетика та електротехніка. Промелектро: інформ. зб. – 2007. - №1. – С. 34-42.

9. Похабов В.И. Энергетический менеджмент на промышленных предприятиях [Текст] / В.И. Похабов, В.И. Клевзович, В.В. Ворфоломеев // Изд. Технопринт, 2002. – 176 с.

10. Енергоаудит у системі енергоменеджменту підприємства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://vuzlib.com.ua/articles/book/27043-Energoaudit_u_sistem%D1%96_energom/1.html (15.03.2015).

11. Праховник А.В Энергетический менеджмент: Учебное пособие [Текст] /А.В. Праховник, В.П. Розен, О.Б. Разумовский.- К.: Нот.ф-ка, 1999. – 184 с.

12. Праховник А.В. Энергетический менеджмент [Текст] / А.В Праховник, А.И. Соловей, В.В. Прокопенко. – К.: Киевская нотная фабрика, 2001. – 472 с.

13. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetyka.com.ua/normatyvna-baza/385-energetichna-strategiya-ukrajini-na-period-do-2030-roku-vi-strategiya-rozvitku-naftogazovoji-promislovosti> (22.04.2015).

14. Бараннік В.О. Ефективність енергоспоживання в державі як індикатор конкурентоспроможності. Міждержавні співставлення [Текст] / В.О. Бараннік // Научно-технический сборник. – 2008. – №88. – С.14-18.

15. Пособие по курсу «Основы целевого энергетического мониторинга». – М.: ЭНИЗАН, АСЭМ, 1997. – 38с.

16. Праховник А.В. Контроль і нормалізація енергоспоживання [Текст] / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Энергосбережение, энеретика, энергоаудит. – 2009. – №8(66). – С. 41-54.

17. Сальников А.Х. Нормирование потребления и экономия топливно- энергетических ресурсов [Текст] / А.Х. Сальников, Л.А. Шевченко. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.

18. Чазова Т.Ю. Управление энергопотреблением [Текст] / Т.Ю. Чазова, А.В. Чазов. – Екатеринбург: УГТУ, 2005. – 205 с.

19. Находов В.Ф. Застосування методів самоорганізації математичних моделей енергоспоживання для встановлення «стандартів» в системах оперативного контролю енергоефективності [Текст] / В.Ф. Находов, І.В. Стеценко, Я.С. Бедерак // Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 5(99). – С. 23-33.

20. Находов В.Ф. Вибір оптимального набору критеріїв з метою комплексної оцінки адекватності побудови «стандарту» енергоспоживання в системах оперативного контролю енергоефективності [Текст] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько //Енергетика. Екологія. Людина. – 2013. – № 3(34). – С.68-78.

21. Находов В.Ф. Контроль ефективності енерговикористання в системі енергетичного менеджменту [Текст] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько // ISSN1813-6796 ВІСНИК КНУТД. – 2013. - №6. – С. 67-77.

22. Вознесенський В. А. Прийняття рішень по статистичним моделям [Текст] / В.А. Вознесенський, А.М. Ковальчук .– М: Статистика, 1978. – 192 с.

23. Клячкин В.Н. Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии: учеб. пособие [Текст] / В.Н. Клячкин. – М.: Финансы и статистика. ИНФА, 2009. – 304 с.

24. Царев Ю.В. Статистические методы контроля и управления качеством. Контрольные карты: Учебно-методическое пособие [Текст] / Ю.В. Царев, А.Н. Тростин. – Иваново: ГОУ ВПО, 2006. – 250 с.

25. Клячкин В.Н. Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии: учеб. пособие [Текст] / В.Н. Клячкин. – М.: Финансы и статистика. ИНФА, 2009. – 304 с.

26. Боровиков В.Н. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов [Текст] / В.Н. Боровик. – СПб.: Питер, 2001. – 356 с.

27. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных [Текст]: [Перевод с англ. под редакцией канд. техн. наук Э.К. Лецкого] / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Издательство «Мир», 1980. – 610 с.

28. Літнарівч Р.М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу. Навчальний посібник [Текст] / Р.М. Літнарівч. – Рівне: МЕРУ, 2011. – 140 с.

29. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Статистичні методи управління якістю продукції» для студентів спеціальності 7.000001 «Якість, стандартизація і сертифікація» денної і заочної форм навчання / Укл.: О.В. Томашевський – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 40 с.

30. ДСТУ ISO 8258 – 2001. Контрольні карти Шухарта.

31. Бахрушин В.Є. Методи аналізу даних: навчальний посібник для студентів [Текст] / В.Є. Бахрушин. – Запоріжжя: КПУ, 2011. – 268 с.

32. Вальд А. Последовательный анализ [Текст]: [Перевод с англ. Под редакцией Б.А. Севастьянова] / А. Вальд. – М: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 327 с.

33. Ивахненко А.И. Научные основы комплексной автоматизации и моделирования характеристик технологических процессов в системе контроля качества продукции промышленного производства [Текст]: / Ивахненко А.И. – М: Московский автомобильно-дорожный институт, 2008. – 289 с.

34. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей «Розроблення стартар-проекту»/ Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2016 р.

35. Павлов А. Н. Принятие решений в условиях нечеткой информации: учеб. пособие /А. Н. Павлов, Б. В. Соколов; ГУАП – СПб., 2006 – 72 с.

36. Находов В.Ф. Вибір чинників для побудови математичних моделей електроспоживання виробничих об'єктів [Електронний ресурс] / В.Ф. Находов, І.О. Єгорова, О.П. Тітарчук // Збірник наукових праць Енергетика. Екологія. Людина : VII міжнар. наук.-техн. конф. молодих дослідників, аспірантів та студентів, 27–29 травня 2015 р. – К., 2015.

37. Дубров А.М. Многомерные статистические методы / А.М. Дубров, В.С. Мхитарян, Л.И. Трошин. – М., Финансы и статистика, 2003. Статистика /под

редакцией Мхитаряна/, учебник для вузов, М., Экономист, 2006.

38. Вознесенский В.А Принятие решений по статистическим моделям / В. Вознесенский, А. Ковальчук. - Москва: Статистика, 1978. 193с.

39. Jolliffe I.T. Principal Component Analysis, Series: Springer Series in Statistics, 2nd ed., Springer, NY, 2002, XXIX, 487 p. 28 illus.

40. Gorban A. N., Kegl B., Wunsch D., Zinovyev A. Y. (Eds.), Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction, Series: Lecture Notes in Computational Science and Engineering 58, Springer, Berlin — Heidelberg — New York, 2007, XXIV, 340 p. 82 illus.

41. Боровиков В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. - СПб.: Питер, 2001.

42. Находов В.Ф., Вибір математичної моделі для встановлення «стандартів» енергоспоживання виробничих об'єктів на основі багатокритеріального підходу / Бориченко О.В., Іванько Д.О. // Наукові вісті НТУУ "КПІ Енергетика та нові енергогенеруючі технології" 2014— 1.

43. Находов В.Ф., Вибір методів математичного моделювання процесів енергоспоживання в системах оперативного контролю

енергоефективності / Іванько Д.О., Головка А.В. // Энергетика: економіка, технології, екологія. — 2013. — Спецвип. Матеріали аспірантських читань пам'яті А.В. Праховника. — С. 20—27.

44. Бурков В. Н. Прикладные задачи теории графов / В. Н. Бурков, И. А. Горгидзе, С. Е. Ловецкий. — М., 1974. — 232 с.

45. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Экспертные системы в медицине»/ Сост: Синекон Ю.С., Продеус А.Н., Вунтесмери Ю.В., Имад Исса Джамиль Ирейфидж, Киселев Е.Н. - К.: НТУУ «КПИ», 2011-73с.

46. Методы обработки экспертной информации: учебно метод. пособие/ А. Н. Павлов, Б. В. Соколов; ГУАП. СПб., 2005. 42 с.: ил.

47. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. — М.: Статистика, 1980. — 263 с.

48. Комплексний підхід до визначення складу чинників, які необхідно враховувати при побудові систем оперативного контролю ефективності енерговикористання [Електронний ресурс] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько, І.О. Єгорова // Збірник наукових праць Энергетика. Екологія. Людина : VI міжнар. наук.-техн. конф. молодих дослідників, аспірантів та студентів, 21–23 травня 2014 р. – К., 2014.

49. Комплексний підхід до визначення складу чинників, що впливають на величину енергоспоживання при впровадженні систем оперативного контролю ефективності [Електронний ресурс] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько, І.О. Єгорова // Науковий журнал Энергетика: економіка, технології, екологія №2(36)-2014 : міжнар. наук.-техн. конф. молодих дослідників, аспірантів та магістрантів, 27–29 травня 2014 р. – К., 2014.

50. Бешелев С.Д. Экспертные оценки / С. Бешелев, Ф. Гурвич.- М.: Наука, 1973. 246с.

Додаток А

В п.3.1 даного дослідження проведений регресійний аналіз для побудови БРЕ споживання кожного типу енергоносія. В даному додатку представлено приклад відбору чинників для процесу електроспоживання. Будуємо перший варіант регресійної моделі. Результат представлений в таблиці А.1.

Таблиця А.1

Регрессионная статистика							
Множественный R	0,93	Дисперсионный анализ					
R-квадрат	0,86		df	SS	MS	F	Значимость F
Нормированный R-квадрат	0,82	Регрессия	16	9,62E+09	601103357,7	29,6369832	7,11E-25
Стандартная ошибка	4651,27	Остаток	71	1,54E+09	21634351,58		
Наблюдения	187	Итого	87	1,12E+10			
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	
Y-пересечение	26713,98	38921,97	0,69	0,49	-50894,22	104322,19	
Буряків	6,76	2,96	2,28	0,03	0,86	12,66	
Дг стружки	5291,16	6105,95	0,87	0,39	-6883,74	17466,07	
ОЗ	53,95	730,82	0,07	0,94	-1403,26	1511,16	
Дг	-3909,31	3090,26	-1,27	0,21	-10071,10	2252,49	
А-амін	52,59	1396,44	0,04	0,97	-2731,82	2837,01	
Гнил Бур	566,86	5572,95	0,10	0,92	-10545,28	11679,00	
Цукор	11,57	6,15	1,88	0,06	-0,70	23,84	
Цукроза							
Верстат	2,66	4,16	0,64	0,52	-5,64	10,95	
Вихід цукор	3390,20	4388,78	0,77	0,44	-5360,78	12141,18	
Цукор Меляса	15336,69	7600,48	2,02	0,05	181,76	30491,61	
Меляса	2,16	16,31	0,13	0,89	-30,35	34,68	
Жом	52,98	17,30	3,06	0,00	18,48	87,47	
Відкачка буряків	-10,33	214,81	-0,05	0,96	-438,65	417,99	
Сирий жом	1,80	8,66	0,21	0,84	-15,48	19,07	
Сирий жом2	-1,90	4,66	-0,41	0,68	-11,20	7,39	

Як можна побачити з таблиці більша части чинників має р-значення вище ніж 0,1. Таке значення можна пояснити двома причинами:

відсутність лінійного взаємозв'язку між залежною та незалежною змінною, або наявність колінеарності між чинниками. Для перевірки на полінеарність скористаємось таблицею 3.1. Даній таблиці можна визначити коефіцієнт кореляції Пірсона для певної пари параметрів. Високе p – значення перетину координат свідчить про низьку статистичку значущість моделі.

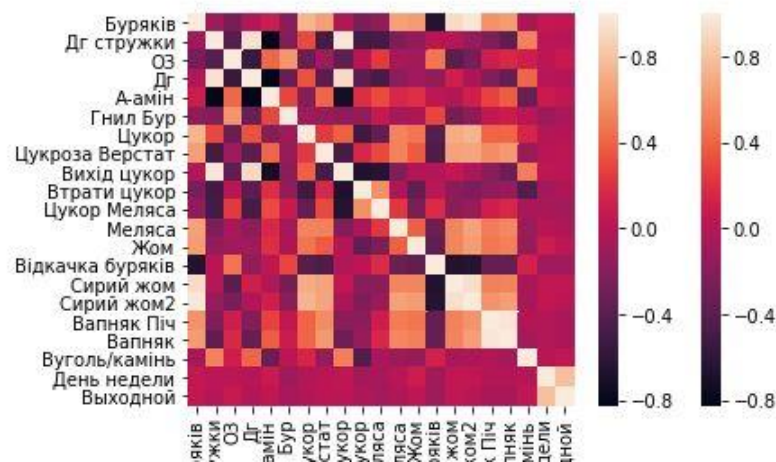
p – значення – ймовірність похибки при відхиленні нульової гіпотези. Нульова гіпотеза в моделі лінійної регресії – відсутність лінійного зв'язку між змінними. Тобто чим менше p – значення, тим менше ймовірність помилитись відхиляючи нульову гіпотезу, тобто тим більше ймовірність того, що змінні дійсно пов'язані між собою. На практиці зазвичай при тестуванні лінійних регресій основним інструментом тестування є p – значення, так як коефіцієнт детермінації та критерій Фішера можуть давати псевдо-вірні результати при великій кількості змінних. Проте не менш важливим елементом тестування є перевірка на колінеарність. Наприклад в таблиці можна побачити, що змінна «Вихід цукор» має високе p – значення $> 0,1$, тобто досить високу помилку при встановленні лінійного зв'язку для даного чинника. В таблиці 3.1 можна побачити, що вихід цукру має сильну лінійну кореляцію з відсотком сахарози в буряковій стружці. Якщо видалити з моделі відсоток сахарози в буряковій стружці, то змінна «Вихід цукор» набуває p – значення близьке до нуля, що дозволяє встановити залежність з цим чинником. Якщо видалити з моделі все змінні, які впливають на інші змінні, а після цього всі змінні з високим p – значенням, отримаємо оптимальну модель лінійної регресії, представлену в таблиці 3.2.

Додаток Б

Для побудови певних математичних та аналітичних моделей в дослідження була використана мова програмування Python та середовище Jupyter Notebook.

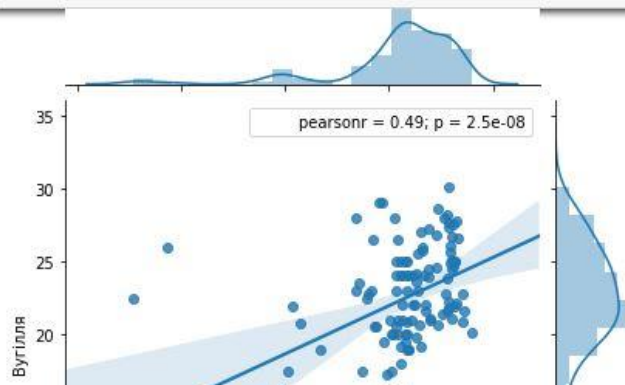
На рисунку 3.1 представлена теплова карта розподілу коефіцієнту кореляції Пірсона між чинниками. Нижче представлений код програми для побудови даного графіку:

```
: import seaborn as sns #бібліотека для статистичної аналітики
data = pd.read_excel('Data.xlsx') #загрузка даних з документа
# ексель
sns.heatmap(data.corr());#функцією corr розраховується
# коеф кореляції Пірсона між кожним стовпчиком даних
# функція heatmap будує графік кольорового розподілу певних
# величин
plt.show()#зображення
```



Код для побудови рисунку 3.6 представлений нижче:

```
for i in data.columns: # для кожного стовпчика
    sns.jointplot(x = data[i], y = target['Вугілля'], kind="reg")
# функція jointplot будує scatter plot залежності
# споживання вугілля від кожного чинника з
# відображення кореляції Пірсона, проведенням
# однофакторної регресії]
# та відображенням статистичного розподілу кожної величини
plt.savefig('Data_Science2/%s.jpg' %(list(data.columns).index(i)))# збереження зображення
plt.show()#зображення
```



Код для будовання XGBoost моделі:

```
from xgboost import XGBRegressor # модель градієнтного підсилювання
# для задачі регресії
from sklearn.feature_selection import RFE # Метод відбору чинників
# recursive feature elimination
Train = pd.read_excel('Train.xlsx') # загрузка тренувального періоду даних
Test = pd.read_excel('Test.xlsx') # загрузка тестового періоду даних
cols = Train.columns[:-3] # список чинників
X = Train[cols] # змінна з незалежними змінними
y = Train['Електроенергія'] # залежна змінна - споживання
# електроенергії
model = XGBRegressor() # модель XGBRegressor
```

```
Train.columns # список всіх стовбців даних
```

```
Index(['Буряків', 'Дг стружки', 'ОЗ', 'Дг', 'А-амін', 'Гнил Бур', 'Цукор',
      'Цукроза Верстат', 'Вихід цукор', 'Втрати цукор', 'Цукор Меляса',
      'Меляса', 'Жом', 'Відкачка буряків', 'Сирий жом', 'Сирий жом2',
      'Вапняк Піч', 'Вапняк', 'Вуголь/камінь', 'День недели', 'Выходной',
      'Електроенергія', 'Газ', 'Уголь'],
      dtype='object')
```

```
import warnings
warnings.simplefilter(action='ignore', category=FutureWarning)
```

```
rfe = RFE(model, 6) # методом recursive feature elimination
# визначається 6 найвпливовіших чинників
rfe = rfe.fit(X, y) # тренування даного методу на даних
print(rfe.support_) # список чинників, які мають найбільший вплив
print(rfe.ranking_) # ранг чинників в залежності від впливу на
# цільову змінну
```

```
[ True False  True False False False  True False False False  True False
  True False False False False False  True False False]
[ 1  2  1  3  6 13  1  7 14  4  1  9  1 12  5  8 15 11  1 10 16]
```

```
cols = [] # вибираються змінні з найвищим рангом
# після впровадження recursive feature elimination
for i in range(len(rfe.support_)):
    if rfe.support_[i]:
        cols.append(X.columns.values[i])
```

```
cols # список найвпливовіших змінних
```

```
['Буряків', 'ОЗ', 'Цукор', 'Цукор Меляса', 'Жом', 'Вуголь/камінь']
```

```
model.fit(X[cols], y) # навчання моделі на даних
```

```
XGBRegressor(base_score=0.5, booster='gbtree', colsample_bylevel=1,
              colsample_bytree=1, gamma=0, learning_rate=0.1, max_delta_step=0,
              max_depth=3, min_child_weight=1, missing=None, n_estimators=100,
              n_jobs=1, nthread=None, objective='reg:linear', random_state=0,
              reg_alpha=0, reg_lambda=1, scale_pos_weight=1, seed=None,
              silent=True, subsample=1)
```

```
new = model.predict(Test[cols])# прогнозування на тестових даних
```

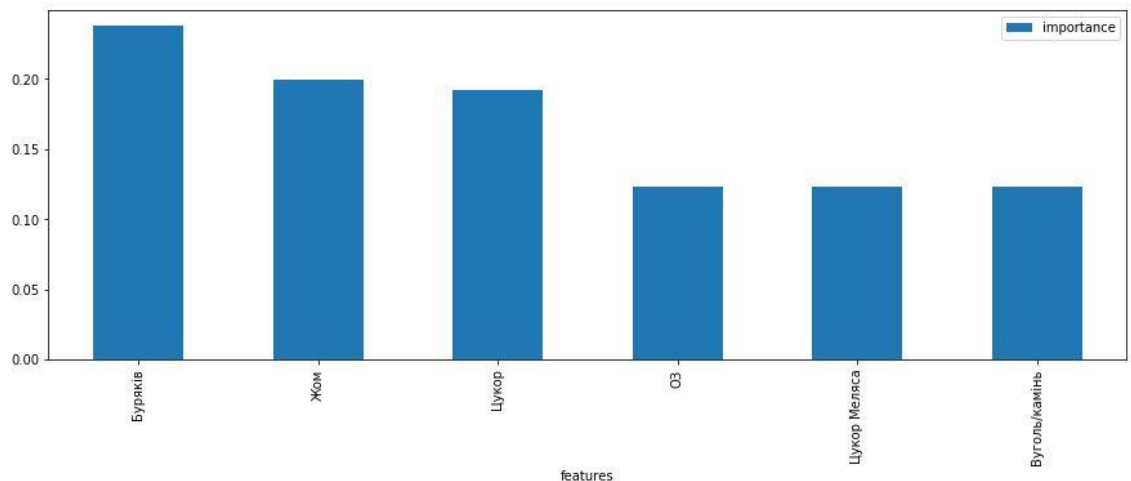
```
mean_absolute_error(new, Test['Уголь'])#визначення середньоквадратичної
#похибки прогнозу, кВт год
```

```
187313.14062083332
```

```
default_imp # важливість кожної змінної, %
```

importance	
features	
Буряків	0.237530
Жом	0.199525
Цукор	0.192399
ОЗ	0.123515
Цукор Меляса	0.123515
Вуголь/камінь	0.123515

```
: default_imp=pd.DataFrame(data={'importance':model.feature_importances_, 'features':cols})
default_imp=default_imp.set_index('features')
default_imp=default_imp.sort_values('importance',ascending=False)
default_imp.plot(kind='bar',figsize=(15,5))
plt.show() # будування графіку залежності кожної змінної
```



Додаток В

В п3.3.1 проведений аналіз не лінійності залежності споживання газу від ступені в'ялості бурякової сировини. В даному розділі приведені графіки залежностей цільових величин від нелажних змінних при умові, що гіпотеза про лінійну залежність між даними парами величин не дотримується.

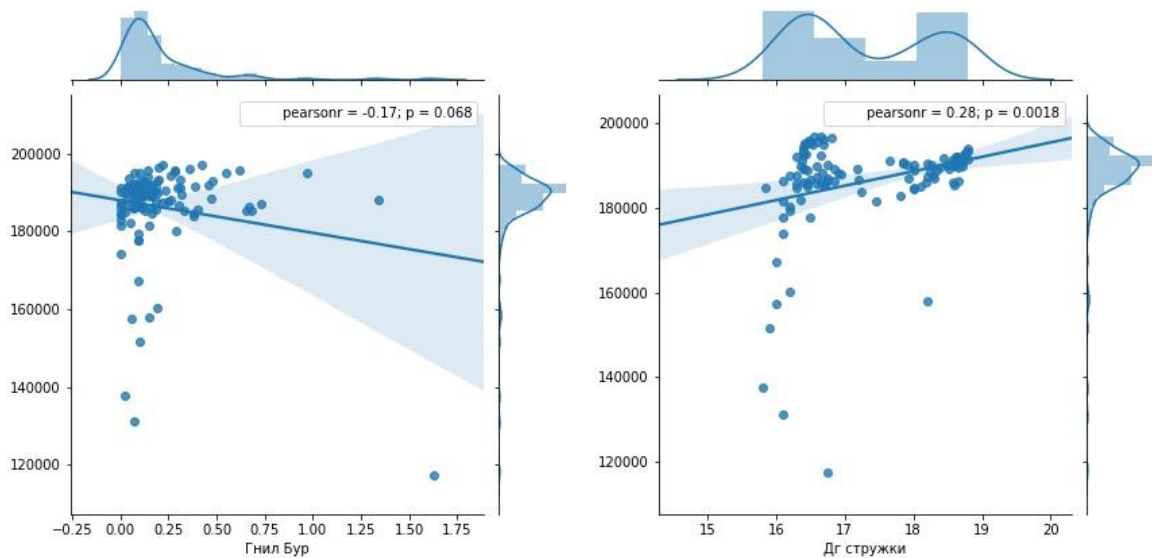


Рисунок В.1 Точкова діаграма залежності споживання електроенергії від вмісту гнилих буряків та відсотку сахарози в буряковій стружці

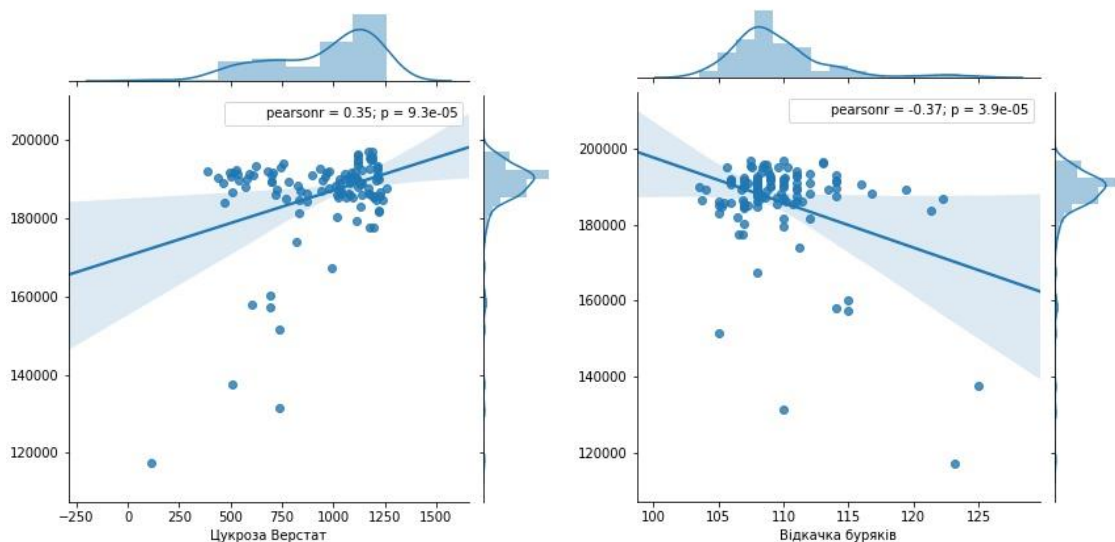


Рисунок В.2 Точкова діаграма залежності споживання електроенергії від вмісту гнилих буряків та відсотку сахарози в буряковій стружці

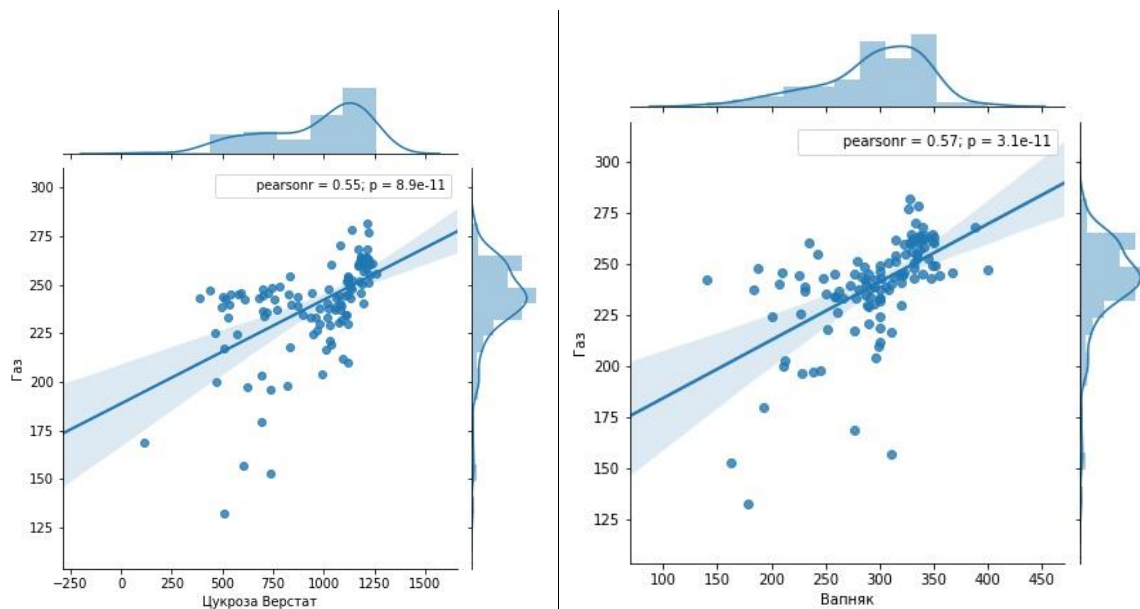


Рисунок В.2 Точкова діаграма залежності споживання природного газу від залишку цукрози на верстаті та витрат випняку на виробництво в буряковій стружці

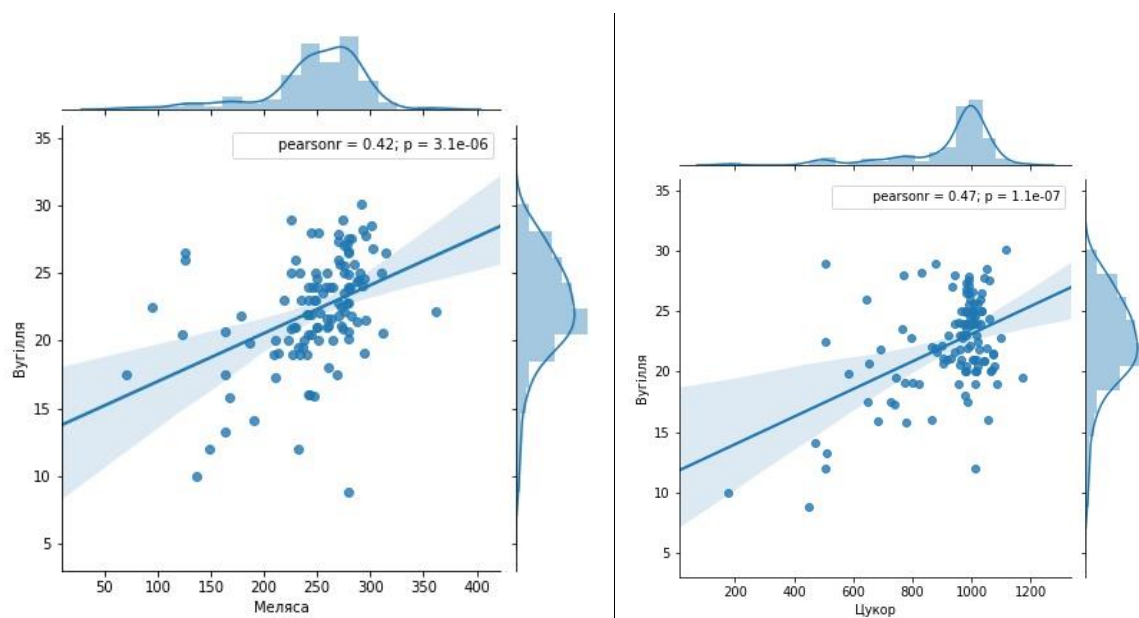


Рисунок В.3 Точкова діаграма залежності споживання вугілля від випуску м'яси та цукру